

10/085,204



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 2月12日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-033590

[ST.10/C]:

[JP2002-033590]

出 願 人

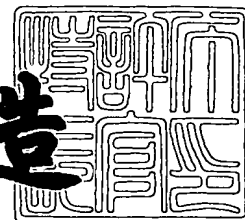
Applicant(s):

株式会社リコー

2002年 5月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3035057

【書類名】 特許願

【整理番号】 0109803

【提出日】 平成14年 2月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 分布ブラッグ反射器および面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システム

【請求項の数】 13

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 軸谷 直人

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 高橋 孝志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー
 内

 【氏名】 伊藤 彰浩

【特許出願人】

 【識別番号】 000006747

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

 【氏名又は名称】 株式会社 リコー

【代表者】 桜井 正光

【代理人】

【識別番号】 100090240

【住所又は居所】 神奈川県横浜市西区浅間町 1 丁目 5 番 1 号 インテンシ
ョン横浜 6 0 1 号

【弁理士】

【氏名又は名称】 植本 雅治

【電話番号】 045-316-1042

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 73767

【出願日】 平成13年 3月15日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002- 19748

【出願日】 平成14年 1月29日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009793

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808722

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分布ブラッグ反射器および面発光レーザ素子および面発光レーザレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 5 nm 乃至 50 nm の範囲であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 2】 屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 20 nm 乃至 50 nm の範囲であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 3】 屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 30 nm 乃至 50 nm の範囲であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 4】 請求項 2 記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第 2 の半導体層と屈折率が大なる第 1 の半導体層は、 AlAs 、 GaAs 、または AlGaAs 混晶で形成され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との Al 組成の差が 0.8 未満であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 5】 請求項 3 記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第 2 の半導体層と屈折率が大なる第 1 の半導体層は、AlAs, GaAs, または AlGaAs 混晶で形成され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との Al 組成の差が 0.8 以上であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 6】 屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は、厚さが、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 $\lambda [\mu\text{m}]$ に対して、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 7】 請求項 6 記載の分布ブラッグ反射器において、材料層は、厚さが 20 nm 以上であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 8】 請求項 6 記載の分布ブラッグ反射器において、材料層は、厚さが 30 nm 以上であることを特徴とする分布ブラッグ反射器。

【請求項 9】 活性層と、共振器ミラーとを有する面発光レーザ素子において、共振器ミラーには請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項に記載の分布ブラッグ反射器が用いられることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 10】 請求項 9 記載の面発光レーザ素子において、活性層の材料が GaNAs, GaInAs, GaInNAs, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNAsSb のいずれかであることを特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 11】 請求項 9 または請求項 10 記載の面発光レーザ素子が複数個配列されて構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイ。

【請求項 12】 請求項 9 または請求項 10 の面発光レーザ素子、または、請求項 11 記載の面発光レーザアレイを用いたことを特徴とする光インターコネクションシステム。

【請求項 13】 請求項 9 または請求項 10 の面発光レーザ素子、または、請求項 11 記載の面発光レーザアレイを用いたことを特徴とする光通信システム

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、分布ブラッグ反射器および面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、面発光レーザ素子の共振器ミラーとして $0.85\mu\text{m}$ 帯～ $0.98\mu\text{m}$ 帯に反射帯域を有する分布ブラッグ反射器 (DBR) が知られている。また、これを用いた同波長帯の面発光レーザが知られている。

【0003】

分布ブラッグ反射器は、屈折率の異なる材料を夫々 $1/4$ 光学波長の厚さに交互に積層して構成され、界面での光波の多重反射を利用し、 99.9% 以上もの高い反射率を得ることが可能である。

【0004】

また、面発光レーザ素子は、発振閾値電流が低く、高速動作が可能であり、また、2次集積化が容易であることから、光インターコネクション、画像処理システムの光源として好適であり、注目されている。面発光レーザ素子は、光学利得を生じる領域が共振領域中の一部分のみであり、また、共振器長が短いことから、 99.9% 以上の高い反射率を有する共振器ミラーが必要であり、この共振器ミラーとして分布ブラッグ反射器が好適である。分布ブラッグ反射器の材料としては、例えば、半導体材料や誘電体材料等が挙げられるが、特に半導体材料による分布ブラッグ反射器は通電が可能であり、面発光レーザ等のレーザ素子への応用に適している。

【0005】

従来、このような面発光レーザ素子として、GaAs を基板に用いた AlGaAs 系材料による $0.85\mu\text{m}$ 帯及び $0.98\mu\text{m}$ 帯の素子が公知であり、この材料系では、AlGaAs 材料による半導体分布ブラッグ反射器が共振器ミラー

として用いられている。

【 0 0 0 6 】

A l G a A s 系材料による分布ブラッグ反射器は、A l 組成の異なる 2 種の A l G a A s 層から構成され、低屈折率層として A l 組成の大きい半導体層（例えば A l A s 層）が用いられ、高屈折率層として A l 組成の小さな半導体層（例えば G a A s 層）が用いられている。典型的な面発光レーザ素子の例では、活性層を挟み、それぞれ p 型、n 型にドーピングされた分布ブラッグ反射器が設けられ、光波の閉じ込めと活性領域へのキャリアの注入が行われるが、これらの 2 種の導電型の分布ブラッグ反射器の中でも、p 型分布ブラッグ反射器は A l 組成の異なる半導体層によるヘテロ界面の影響のために、電気抵抗が高いことが問題となっている。

【 0 0 0 7 】

従来、このヘテロ界面の影響による p 型分布ブラッグ反射器の電気抵抗を低減するために、例えば、 $0.98\mu\text{m}$ 帯等の面発光レーザ素子において、文献「Photonic Technology Letters Vol. 2, No. 4, 1990, p. p. 234-236, Photonic Technology Letters Vol. 4, No. 12, 1992, p. p. 1325-1327」等のように、分布ブラッグ反射器を構成する A l 組成の異なる 2 種の層の間に、これらの中間の A l 組成を有する組成傾斜層等のヘテロ障壁緩衝層を設けることが知られている。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来、A l G a A s 系半導体材料では、活性層の格子歪による問題から、G a A s 基板上に $1.1\mu\text{m}$ よりも長波で発振するレーザを作製することが非常に困難であり、従来、この材料系による $1.1\mu\text{m}$ より長波の面発光レーザ素子は検討されていなかった。

【 0 0 0 9 】

従来、 $1.1\mu\text{m}$ 帯よりも長波長のレーザ素子としては、I n P を基板とした I n G a A s P 系材料を用いたものが主に検討されており、この材料系による面

発光レーザ素子の作製の例が報告されている。この材料系においても、同様にヘテロ界面による高抵抗化の問題があるものの、元々、分布ブラッグ反射器の材料となる InGaAsP 系材料間の屈折率差が AlGaAs 系材料に比べて非常に小さく、また、熱伝導性が悪いなど材料的な問題によって、良質な分布ブラッグ反射器を得ることが難しいという課題がある。また、半導体分布ブラッグ反射器の代わりに誘電体材料による分布ブラッグ反射器を用いることも可能であるが、横方向からの電流注入が必要になり、構造が複雑になる上に動作電圧が高くなるという問題がある。また、 InP を基板とした場合に Al(Ga)As 層を用いた選択酸化プロセスを用いることが困難であり、酸化アパーチャーによって横モード制御された特性の優れた面発光レーザ素子を得ることが難しい等の問題がある。

【 0 0 1 0 】

以上のような課題から、 GaAs 基板及び InP 基板上において、従来、 $1.1\mu\text{m}$ よりも長波長帯における実用レベルの面発光レーザ素子は得られていなかった。石英ファイバを用いた光通信では、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯で発振する面発光レーザ素子が好適であるが、従来、実用レベルの通信用途の面発光レーザ素子は得られていない。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、近年、 GaAs 基板上における長波長帯の面発光レーザ素子として、高歪結晶の成長条件の検討、または、活性層材料自体の検討により、 GaAs 基板上において $1.1\mu\text{m}$ よりも長波の面発光レーザ素子の検討がなされ始めている。ところが、上述したように、従来では、 GaAs 基板上におけるこの波長帯での面発光レーザの例は無く、 $1.1\mu\text{m}$ よりも長波長帯域における分布ブラッグ反射器及び組成傾斜層の詳細な検討は、いまだになされていない。

【 0 0 1 2 】

従って、従来技術によっては、この波長帯において、電気特性（低い電気抵抗）及び光学特性（高い反射率）の両方に優れた半導体分布ブラッグ反射器、及びこれを反射鏡ミラーとした、特性の優れた面発光レーザ素子を得ることは難しい。

【 0 0 1 3 】

本発明は、電気抵抗が低く、かつ、反射率の高い $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波帯の分布ブラッグ反射器および面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システムを提供することを目的としている。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項 1 記載の発明は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが $5\ \text{nm}$ 乃至 $50\ \text{nm}$ の範囲であることを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 2 記載の発明は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが $20\ \text{nm}$ 乃至 $50\ \text{nm}$ の範囲であることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

また、請求項 3 記載の発明は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが $30\ \text{nm}$ 乃至 $50\ \text{nm}$ の範囲であることを特徴としている。

【 0 0 1 7 】

また、請求項4記載の発明は、請求項2記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第2の半導体層と屈折率が大なる第1の半導体層は、AlAs, GaAs, またはAlGaAs 混晶で形成され、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層とのAl組成の差が0.8未満であることを特徴としている。

【0018】

また、請求項5記載の発明は、請求項3記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第2の半導体層と屈折率が大なる第1の半導体層は、AlAs, GaAs, またはAlGaAs 混晶で形成され、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層とのAl組成の差が0.8以上である事を特徴としている。

【0019】

また、請求項6記載の発明は、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層との間に、第1の半導体層の屈折率と第2の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は、厚さが、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 λ [μm] に対して、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下であることを特徴としている。

【0020】

また、請求項7記載の発明は、請求項6記載の分布ブラッグ反射器において、材料層は、厚さが20nm以上であることを特徴としている。

【0021】

また、請求項8記載の発明は、請求項6記載の分布ブラッグ反射器において、材料層は、厚さが30nm以上であることを特徴としている。

【0022】

また、請求項9記載の発明は、活性層と、共振器ミラーとを有する面発光レーザー素子において、共振器ミラーには請求項1乃至請求項8のいずれか一項に記載の分布ブラッグ反射器が用いられることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

また、請求項 1 0 記載の発明は、請求項 9 記載の面発光レーザ素子において、活性層の材料が GaNAs, GaInAs, GaInNAs, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNAsSb のいずれかであることを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

また、請求項 1 1 記載の発明は、請求項 9 または請求項 1 0 記載の面発光レーザ素子が複数個配列されて構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイである。

【 0 0 2 5 】

また、請求項 1 2 記載の発明は、請求項 9 または請求項 1 0 の面発光レーザ素子、または、請求項 1 1 記載の面発光レーザアレイを用いたことを特徴とする光インターコネクションシステムである。

【 0 0 2 6 】

また、請求項 1 3 記載の発明は、請求項 9 または請求項 1 0 の面発光レーザ素子、または、請求項 1 1 記載の面発光レーザアレイを用いたことを特徴とする光通信システムである。

【 0 0 2 7 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【 0 0 2 8 】

第 1 の実施形態

本発明の第 1 の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられているものであって、この分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 5nm 乃至 50nm の範囲であることを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

ここで、設計反射波長は、次のように定義される。すなわち、図1には、一例として、AlAs/GaAsの24ペアの積層によるDBRの反射スペクトルが示されている。ここで、AlAs層、GaAs層の厚さは、それぞれ、93.8 nm, 79.3 nmであり、1.1 μ mの $1/4n$ の厚さに相当している。なお、 n は波長1.1 μ mにおけるGaAs層、AlAs層のそれぞれの屈折率である。このように、DBRの各層の厚さをある波長 λ の $1/4n$ とすると、波長 λ 付近で最も広帯域に高い反射率を得ることができる。本発明では、この λ を設計反射波長と呼ぶ。

【 0 0 3 0 】

この第1の実施形態において、上記材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が1.1 μ mよりも長波の分布ブラッグ反射器の抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【 0 0 3 1 】

図2、図3は本発明の第1の実施形態の分布ブラッグ反射器(DBR)の一例を示す図である。図2、図3の例では、分布ブラッグ反射器(DBR)は、屈折率が大なる第1の半導体層1としてGaAs層が用いられ、また、屈折率が小なる第2の半導体層2としてAlAsが用いられ、材料層3として組成傾斜層(例えば、厚さが30 nm)が用いられ、AlAs層、組成傾斜層、GaAs層が周期的に繰り返して積層されて構成されている。具体的に、図2、図3の例では、組成傾斜層としてAlGaAsが用いられ、組成傾斜層は線形組成傾斜層として形成されている。

【 0 0 3 2 】

図2、図3の構成において、DBRの設計反射波長(λ)は1.3 μ mであり、波長1.3 μ mに対するAlAs層2、GaAs層1の $\lambda/4n$ 、厚さはそれぞれ、111.6 nm、95.2 nmである。ここで、 n は、波長1.3 μ mに対する、夫々の半導体層の屈折率である。図2、図3のDBRは、上記の厚さから、上述の線形組成傾斜層3(厚さが30 nm)の光学長に相当する分の各半導体層の光学長を減じるように厚さを調整している。また、夫々の半導体層は、A

1 A s 層 2 が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、Ga A s 層 1 が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、線形組成傾斜層 3 が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように、p 型ドーピングが行われている。

【 0 0 3 3 】

図 2、図 3 の分布ブラッグ反射器の抵抗値は、略バルク抵抗値程度まで低くされており、非常に低い値であり、設計反射波長が $1.3 \mu\text{m}$ と従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯の分布ブラッグ反射器に比べ長波であるので、DBR を構成する層の厚さが厚く、線形組成傾斜層による反射率の低減の影響は少なく、光学特性は良好であった。以上のように、従来に比べて低抵抗で高反射率な分布ブラッグ反射器を得ることができた。ここで、材料層 3 として、線形組成傾斜層を用いたが、材料層 3 としては、この他にも非線形に変化させたものであっても良いし、また、組成が少しづつ異なる複数の層によって構成されたものであっても良い。

【 0 0 3 4 】

本発明の第 1 の実施形態では、DBR の設定反射波長を $1.1 \mu\text{m}$ 帯以上と、従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯に比べて長波に設定し、材料層の厚さを 5 nm 乃至 50 nm の範囲としている。

【 0 0 3 5 】

例えば、反射波長を $1.3 \mu\text{m}$ と長波にすると、DBR を構成する各層（第 1 の半導体層 1、第 2 の半導体層 2）の厚さは従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯に比べて約 1.5 倍程度厚くなり、材料層 3 の厚さの占める相対的な割合を小さくできる。また、反射波長を $1.5 \mu\text{m}$ 帯等のように長波にするに従い、材料層 3 の厚さの占める相対的な割合をさらに小さくすることができる。このように、DBR を構成する各層（第 1 の半導体層 1、第 2 の半導体層 2）の厚さは、波長に比例し、長波長化とともに厚くなるので、長波長帯では材料層 3 の影響は小さくなり、反射率の低下等の影響を低減できる。

【 0 0 3 6 】

また、高抵抗化の原因はヘテロ界面の影響によるものであるので、低抵抗化に必要な材料層 3 の厚さは、波長帯に依らず、用いる材料系によって決まっているので、 $0.85 \mu\text{m}$ 帯であっても、また、 $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波長帯域であっても、電気抵抗値をバルク抵抗値程度までに低減するのに必要な材料層の厚さは同

じであり、反射波長が長くなった分、材料層 3 に許容される厚さは厚くなる。このように、従来と同じ厚さの材料層 3 を設ける場合には、反射率の低下は小さくなり、また、従来と同量の反射率値の低下を許容する場合には、電気抵抗を十分低くすることができる。

【 0 0 3 7 】

また、材料層 3 の厚さが特に 5 nm から 5 0 nm の範囲では次のような効果を得ることができる。図 4 には、例として、図 3 に示す線形組成傾斜層 3 に関して、0.88 μ m 帯と 1.3 μ m 帯の DBR の反射率と材料層（線形組成傾斜層）3 の厚さとの関係が示されている。

【 0 0 3 8 】

なお、従来の DBR の設計反射波長を 0.88 μ m としたのは、それぞれの帯域で同じ DBR を構成する材料層によって特性比較を行うためであり、GaAs は 0.87 μ m よりも短波の光を吸収してしまうからである。図 4 では、屈折率が大の層に GaAs 層を用い、屈折率が小の層に AlAs 層を用いている。

【 0 0 3 9 】

ここで、分布ブラッグ反射器の半導体材料の例として、AlGaAs 系半導体材料について示したのは、特にこの材料系が分布ブラッグ反射器の材料として次のような優れた性質を有しているからである。すなわち、AlGaAs 系半導体材料は、安価に且つ容易に入手な GaAs 基板上に略格子整合して結晶成長が可能であり、他の半導体材料系に比べて優れた放熱性を有している。また、混晶を形成する元になる 2 元材料の GaAs と AlAs との間の屈折率差が、例えば 1.3 μ m 帯において 0.5 程度と大きく、他の半導体材料系に比べて少ない積層ペア数で高い反射率を得ることができる。

【 0 0 4 0 】

ここで、それぞれの波長帯で、反射率値が 99.9% を初めて超える積層ペア数は、0.88 μ m 帯が 18 ペア、1.3 μ m 帯が 23 ペアであり、図 4 にはこの前述のペア数を有した各波長帯に対する DBR の組成傾斜層の厚さと反射率との関係が示されている。

【 0 0 4 1 】

なお、上述の例では、材料層 3 として、組成が GaAs から AlAs へ線形に変化している線形組成傾斜層を用いる場合を示したが、材料層 3 としては、他にも、組成の変化率が非線形であってもよく、また連続的に変化させずに、組成を離散的に変化させた 1 つ以上の層から構成されるものであっても良く、また、これらの組み合わせであっても良い。

【0042】

例えば、面発光レーザー素子の反射鏡として DBR を用いる場合には、素子の低閾値電流化に高反射率の DBR を用いることが重要であり、組成傾斜層による反射率の影響が少ないことが重要になる。

【0043】

また、次表（表 1）は図 4 の反射率値を示したものである。

【0044】

【表 1】

	0nm	5nm	10nm
0.88 μm 帯	99.914	99.912	99.905
1.3 μm 帯	99.923	99.923	99.920

【0045】

このように、表 1 は図 4 の反射率値を示したものであるが、1.3 μm 帯では組成傾斜層 3 の厚さ 5 nm までは殆ど反射率の低下は見られない。しかし、0.88 μm 帯では、組成傾斜層 3 の厚さ 5 nm から反射率値の低下が見られ始めている。面発光レーザー素子は共振器長が短く、ミラーによる反射損失の影響が非常に大きいので、僅かな反射率値の低下であっても閾値電流値に大きな影響を与える。

【0046】

図 5、図 6 は、図 4 の結果と同様の構造の線形組成傾斜層を有する 1.3 μm の反射波長を持つ AlAs/GaAs DBR のゼロバイアス付近における抵抗率 (dV/dJ : 電圧 V [V] の電流密度 J [A/cm^2] による微分) [Ωc

m^2] を示す図である。但し、積層ペア数は4ペアである。なお、図5は対数表示、図6は線形表示である。また、図5、図6において、破線は、バンド不連続の影響を考慮しないでバルクの抵抗値から見積もった結果を示している。DBRのp型ドーピング密度はそれぞれの層に対し $1 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ と一様とした。

【0047】

図5では組成傾斜層3の厚さにより電気抵抗率が低減していく様子が示されているが、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯では組成傾斜層3の相対的な割合が小さいので、表1及び図5のように、組成傾斜層の厚さが5nmであれば反射率へ殆ど影響を及ぼすことなく、電気抵抗を2桁程度低減することが可能である。反射波長が更に長波の場合は、より厚い組成傾斜層を設けることができるので、反射率に影響を与えることなく低抵抗化を行うことができる。しかし、これより薄い場合は図5のように低抵抗化の効果が殆ど得られないので、組成傾斜層の厚さとしては不十分である。

【0048】

図5に示すように組成傾斜層を設けない分布ブラッグ反射器（組成傾斜層の厚さが0nmの分布ブラッグ反射器）では、抵抗率が $1 \Omega \text{cm}^2$ と非常に高抵抗であり、現実的な問題として例えば面発光レーザ素子の反射鏡ミラーとして用いた場合に、20ペア以上積層した分布ブラッグ反射器を通し素子に通電させることは困難である。また、通電させるためには非常に高い電圧を必要とする。従って、このような分布ブラッグ反射器を、面発光レーザ素子等の電流駆動光素子に応用することは困難である。しかしながら、上述のように5nmの厚さの組成傾斜層を設けた場合には、組成傾斜層を設けない場合に比べて電気抵抗率を約2桁程度低減することが可能になる。これによって、素子の通電が容易になり、発振が可能となる。更に、通電に必要な電圧も低減するので、素子の破壊、故障等の、信頼性に関する諸問題も大きく改善する。更に表1の様に、反射率の低下は殆ど無いので、低い閾値電流密度で発振を得ることが可能となる。

【0049】

つまり、この5nmという厚さは、長波長帯域で反射特性に影響を与えないで低抵抗化が行える組成傾斜層厚さの下限と考えることができる。従って、材料層

3（本例では組成傾斜層）の厚さは5 nm以上とすることが適切である。

【0050】

更に、組成傾斜層の厚さを厚くするに従い抵抗率は急激に低減し、これに伴って素子の動作電圧、素子発熱が減少する。従って、発振を維持できる温度、及び得られる出力は増加する。

【0051】

例えば、99.8%を反射率の許容値とする場合、図4のように0.88 μ m帯で設けることのできる組成傾斜層の厚さは20 nmに限られるのに対し、1.3 μ m帯では組成傾斜層の厚さを50 nmの厚さにすることができる。また、図5のように電気抵抗値は厚さ50 nmまでは効果的に低抵抗化するものの、50 nmでバルク抵抗値の1.05倍程度となり、これ以上の厚さでは飽和傾向を示しはじめる。しかし、反射率は組成傾斜層の厚さが増すに従い急激に低下を始め、50 nm以上で99.8%以下にまで低下してしまうので、これら両方の特性を同時に良好に満たす組成傾斜層の厚さの範囲として、50 nm以内が実用上の意味を持つ厚さと考えられる。

【0052】

この反射率の減少の様子を詳しく示したのが図7である。図7は組成傾斜層の厚さ t に対する反射率 R の変化（ $|dR/dt|$ ）を示した図である。図7に示した接線と比較すると、組成傾斜層の厚さが50 nm以上から急激に反射率の変化が大きくなる様子が分かる。素子の発振閾値電流はこれに対応して急激に増加し始める。

【0053】

以上のように、例えば、5 nm以上、50 nm以下の厚さの組成傾斜層を設けた設計反射波長1.3 μ mの分布ブラッグ反射器では、ヘテロ界面の影響による抵抗を有効に低減することが可能であり、また、高い反射率を同時に得ることができる。これを用いた面発光レーザ素子では、現実的な駆動条件において、容易に低閾値電流での発振を得ることが可能である。

【0054】

また、例えば、面発光レーザの高出力化には、光出力側のミラー反射率を小さ

く設定し、光出力を得やすく設計する必要がある。また、高出力（高注入領域）まで、安定に発振させるためには、素子発熱を抑えて、熱による出力飽和点を高く設定する必要がある。50 nmのように比較的厚い材料層3（本例では、組成傾斜層）を設けたDBRは、これらの条件を満たしているので、高出力用途などに適している。

【0055】

この第1の実施形態では、材料層3の厚さを5 nm～50 nmの範囲で、目的に応じ、適切に選ぶことで、反射特性、電気特性がそれぞれ優れたDBRを得ることができる。

【0056】

なお、上述の例（図2，図3の例）では、屈折率が小である第2の半導体層2をAlAs層、屈折率が大である第1の半導体層1をGaAs層としたが、AlGaAs系材料ではAl組成増加に伴って、屈折率が小さくなる。従って、Al組成の異なる2種のAlGaAs層によってDBRを構成することができるので、上述の例の他にも、一方、又は両方の層にAlGaAs混晶を用いたDBRに本発明を適用しても良い。しかし、DBRを構成する2種の層の屈折率差が大きい程、少ない積層ペア数で高いの反射率を得ることができるので、反射特性的には2種の層のAl組成の違いが大きいことが望ましい。図2，図3の例の構造は、AlAsとGaAsによる最も屈折率差が大きくなる組み合わせを示したものである。このようなAl組成の違いが大きな組み合わせでは、ヘテロスパイクの原因となる価電子帯バンド不連続量も大きくなるので、良好な反射特性が得られる反面、より高抵抗化し易いという問題がある。つまり、前述した課題が最も深刻になる組み合わせである。このような場合に、屈折率値が小と大の中間の値をとる材料層を設けることが特に重要となるが、特にこの場合は価電子帯バンド不連続量が大きいのので、低抵抗化には十分な厚さの前記小と大の中間の値をとる材料層を設けることが必要となる。しかし、従来の0.85 μ m帯等のDBRではこれが困難であった。これに対し、本発明の分布ブラッグ反射器では、図2，図3のような材料を用いた場合でも、高い反射率と低い抵抗値とを同時に得ることができる。

【 0 0 5 7 】

第 2 の実施形態

本発明の第 2 の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 20 nm 乃至 50 nm の範囲であることを特徴としている。

【 0 0 5 8 】

この第 2 の実施形態においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波の分布ブラッグ反射器の電気抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【 0 0 5 9 】

この第 2 の実施形態では、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR の組成傾斜層の厚さを、 20 nm から 50 nm としている。ここで、再び、図 5 を詳細に見ると、抵抗率は初め組成傾斜層の厚さの増加と伴に急激に低減し、やがてバルクの抵抗率に次第に漸近していく様子が分かる。図 5 の DBR では抵抗率の減少が飽和し始める組成傾斜層の厚さは約 20 nm である。組成傾斜層の厚さが 20 nm の場合の抵抗率はバルク抵抗値の凡そ倍程度と非常に低減されている。従って、このように組成傾斜層の厚さを 20 nm 以上、 50 nm 以下の範囲とすることによって、ほぼバルク程度に抵抗率が低減された DBR を得ることができる。

【 0 0 6 0 】

第 3 の実施形態

本発明の第 3 の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられ

ている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが $30\ \text{nm}$ 乃至 $50\ \text{nm}$ の範囲であることを特徴としている。

【0061】

この第3の実施形態においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波の分布ブラッグ反射器の電気抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【0062】

図8、図9は本発明の第3の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) の一例を示す図である。図8、図9の例では、分布ブラッグ反射器 (DBR) は、屈折率が大なる第1の半導体層1として GaAs 層が用いられ、また、屈折率が小なる第2の半導体層2として $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層が用いられ、また、材料層3として組成傾斜層 (例えば、厚さが $30\ \text{nm}$) が用いられ、 AlAs 層、組成傾斜層、 GaAs 層が周期的に繰り返し積層されて構成されている。具体的に、図8、図9の例では、組成傾斜層は放物線形状組成傾斜層 (例えば AlGaAs 放物線形状組成傾斜層) として形成されている。

【0063】

ここで、放物線形状組成傾斜層は、価電子帯側エネルギーが禁則帯幅の広い $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層に向けて、下に凸となるように設けられている。

【0064】

図8、図9の構成において、DBRの設計反射波長 (λ) は $1.5\ \mu\text{m}$ であり、波長 $1.5\ \mu\text{m}$ に対する $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層、 GaAs 層の $\lambda/4n$ 、厚さはそれぞれ、 $110.8\ \text{nm}$ 、 $125.5\ \text{nm}$ である。ここで、 n は、波長 $1.5\ \mu\text{m}$ に対する、夫々の半導体層の屈折率である。図8、図9のDBRは、上記の厚さから、上述の放物線形状組成傾斜層3 (厚さが $50\ \text{nm}$) の光学長に相当する分の各半導体層の光学長を減じるように厚さを調整している。また、ここで、低屈折率層を例えば $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 層とすると、後述の第8の実施形態の例に相当するものとなる。この場合、 $1.5\ \mu\text{m}$ に対する $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 層の $\lambda/4n$ 厚さは $121.7\ \text{nm}$ である。

【0065】

また、半導体層は $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層、 GaAs 層、放物線形状組成傾斜層のそれぞれが $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように一様に p 型ドーピングがなされている。

【0066】

図 8 の分布ブラッグ反射器のドーピング密度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と従来の分布ブラッグ反射器と比べ低い値としたが、 50 nm と従来に比べ厚い組成傾斜層を設けたことにより、抵抗値は略バルクの値程度まで低されており、低い値が得られた。また、ドーピング密度を低く設定したことによって、価電子帯間による光吸収も少なく、吸収損失の少ない分布ブラッグ反射器を得ることができる。また設計反射波長が $1.5 \mu\text{m}$ と従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯の分布ブラッグ反射器に比べ非常に長波であるので、反射率を高く保ったまま容易に 50 nm と非常に厚い放物線形状組成傾斜層を設けることができる。この結果、光学特性も良好なものとなる。以上のように、従来に比べて低抵抗で高反射率な分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【0067】

ここで、材料層 3 として、放物線形状組成傾斜層を用いたが、材料層 3 としては、この他のものであっても良い。また、DBR の設計反射波長も、 $1.5 \mu\text{m}$ 以外であってても良いし、低屈折率層の Al 組成も他の値であってても良い。また、各半導体層毎に異なったドーピング密度としても良い。

【0068】

この第 3 の実施形態では、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR の組成傾斜層の厚さを、 30 nm 乃至 50 nm としている。図 5 のように組成傾斜層の厚さを増していくと、DBR の抵抗率はある厚さまで急激に低減する。この急激な抵抗率の減少が見られる組成傾斜層の厚さは、DBR のドーピング密度にも関係している。例えば、図 10 は図 4 の AlAs/GaAs DBR において、各層のドーピング濃度を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした場合の結果を示した図である。図 10 のようにドーピング密度が低い場合には、急激に抵抗率がバルク抵抗率程度までに低減する組成傾斜層の厚さが 30 nm 程度と厚くなっており、これ以上

の厚さではバルク抵抗率へと直線的に変化している。特に、p型DBRでは、自由キャリア吸収に加えて、価電子帯間の光吸収により正孔密度（ドーピング密度）が高くなると光吸収が増加し、レーザ素子等では発振閾値電流の増加等の原因となるので、光学特性的にはキャリア密度が低い方が好ましい。また、価電子帯間吸収は長波長の光に対して顕著となるので、特に1.1 μm 以上の波長帯では、吸収損失を低く抑えることが重要である。更に、従来の $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えるドーピング密度を有した層を含んだDBRでは、吸収損失を低減させることが難しい。

【0069】

このような理由から、DBRを構成する第1の半導体層（屈折率が大）、及び第2の半導体層（屈折率が小）、又は材料層（組成傾斜層）のいずれか、又は全ての層のドーピング密度を、意図して低く（ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下）とする場合がある。しかし、このようにドーピング密度を低減したDBRでは、空欠層の広がりが大きくなることによりヘテロ界面の影響がより顕著となって、電気抵抗が増加する傾向にある。例えばこのような理由からドーピング密度をやや低めとした場合に、ヘテロ界面の影響を緩和し抵抗値を低減するには、より厚い組成傾斜層が必要であり、図10の結果を参照すると、特に30 nm以上の厚さからその効果が顕著に現れるものである。更にドーピング密度を低減した場合には、厚さのより厚い組成傾斜層が必要となるが、40 nm, 50 nm等の上記の範囲内の厚さを有した組成傾斜層を設けることにより、ヘテロ界面の影響を効果的に低減することが可能となる。また、DBRを構成する層をAlAsの他にAlGaAs等とした場合にも同様のことがいえる。

【0070】

図11は、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{GaAs}$ の4ペアDBRの抵抗値を図10と同様に計算した図である。図11では、各層のドーピング密度を更に低く設定し、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ としているが、この場合も組成傾斜層の厚さが30 nm以上から抵抗率はバルク抵抗率と同程度となることが分かる。例えば前述のような理由から、DBRを構成する第1の半導体層（屈折率が大）、及び第2の半導体層（屈折率が小）、又は材料層（組成傾斜層）のいずれか、又は全ての層のドーピン

グ密度を従来に比べて小さく ($1 \text{ E } 18 \text{ cm}^{-3}$ 以下に) 設定した DBR では、30 nm の組成傾斜層の厚さが電気抵抗率が飽和し始めるおよその境の厚さとなっている。従って、DBR を構成する少なくとも一層のドーピング密度が $1 \text{ E } 18 \text{ cm}^{-3}$ 以下であるような場合は、上述のように、厚さが 30 nm 乃至 50 nm の範囲の組成傾斜層を用いることにより、抵抗値を効果的に低減することができる。

【0071】

もちろん、組成傾斜層の厚さの上記範囲は、ドーピング密度をこれよりも高くした DBR においても効果的に低抵抗化できる厚さであり、DBR を含む全ての層が $1 \text{ E } 18 \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングされている場合に用いられていても良い。しかし、特に、 $1 \text{ E } 18 \text{ cm}^{-3}$ 以下のドーピング密度、及び 30 nm 乃至 50 nm の組成傾斜層の厚さの範囲で、これらを適切に選択することによって、吸収損失と電気抵抗との両方を同時に低減させることが可能となる。

【0072】

また、この第3の実施形態の分布ブラッグ反射器を面発光レーザ素子の反射鏡ミラーとして用いることによって、素子特性の優れた面発光レーザ素子を得ることができる。また、前述のように、30 nm 乃至 50 nm という組成傾斜層の厚さは、従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯等において用いられる DBR では設けることが困難であり、本発明の目的とする波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯における DBR において、初めて光学的特性を低下させることなく設けることが可能となるものである。

【0073】

第4の実施形態

本発明の第4の実施形態の分布ブラッグ反射器は、請求項2記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第2の半導体層と屈折率が大なる第1の半導体層は、AlAs, GaAs, または AlGaAs 混晶で形成され、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層との Al 組成の差が 0.8 未満であることを特徴としている。

【0074】

この第4の実施形態では、AlGaAs系半導体材料によって構成された分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する半導体層のAl組成の差が0.8未満であるような場合に、 $1.1\mu\text{m}$ よりも長波長帯に設計反射波長を有する半導体分布ブラッグ反射器の反射率を高く保ったまま、電気抵抗を効果的に低減することができる。

【0075】

すなわち、AlGaAs混晶半導体は、Al組成の増加に対し、価電子帯エネルギーが単調に減少し、Al組成の大きなAlGaAs混晶ほどGaAs単結晶とのバンド不連続が大きく、ヘテロ界面に大きなポテンシャル障壁を形成し高抵抗化の原因となる。また、価電子帯エネルギーの減少は、Al組成に対し略比例しており、Al組成の異なる半導体層間のバンド不連続量は、Al組成の差に対応している。

【0076】

図12、図13は、 $1.3\mu\text{m}$ を設計反射波長とした4ペアのp型分布ブラッグ反射器の電気抵抗率を組成傾斜層の厚さを変えて示した図である。図12、図13において、分布ブラッグ反射器は、高屈折率層をGaAsとし、低屈折率層をAlAs、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ とした3種のものについて示した。また、各半導体層の厚さは材料の屈折率に応じて設計波長の $1/4$ 光学厚さになるようにしている。また、半導体層のドーピング密度は、全ての層に対し、図12で $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、図13で $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と一様にしている。なお、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ というドーピング濃度は、p型DBRのドーピングに用いられている典型的な値である。AlGaAs層のAl組成の大きな分布ブラッグ反射器ほど、組成傾斜層の厚さの薄い領域で抵抗率が高く、また、バルク程度に低抵抗化するのにも厚い組成傾斜層が必要である。例えば、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ とGaAsとでは、価電子帯でのバンド不連続が 300 meV 程度であり、また、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ とGaAsとでは、価電子帯のバンド不連続量が 400 meV 程度である。

【0077】

AlAsとGaAsからなる分布ブラッグ反射器の場合に抵抗率を効果的に低

減するのに必要な組成傾斜層の厚さは、ドーピング密度による依存もあるが、図 1 2, 図 1 3 の結果を併せて考えると、2 0 n m 以上の厚さの組成傾斜層を設ければ良いことが分かる。このように分布ブラッグ反射器を構成する半導体材料のバンド不連続に注目して見た場合に、バンド不連続量が 4 0 0 m e V 未満、つまり A l 組成差が 0 . 8 未満の場合においては、組成傾斜層の厚さ 2 0 n m 以上が効果的に抵抗を低減できる厚さである。

【 0 0 7 8 】

また、実際には、バンド不連続による抵抗の増加は、障壁の高さ、幅以外にも、キャリアである正孔の有効質量にも依存するが、重い正孔の有効質量は、通常分布ブラッグ反射器として用いられる A l G a A s , A l G a I n P , G a I n A s P 系材料間では、電子等の有効質量ほどの大きな差は無く、バンド不連続量がヘテロ界面の抵抗の目安と考えることができる。従って、価電子帯のバンド不連続量が 4 0 0 m e V 未満、つまり A l 組成差が 0 . 8 未満であるような場合には、厚さ 2 0 n m 以上の組成傾斜層を用いることによって、より効果的に電気抵抗率を低減することが可能となる。

【 0 0 7 9 】

また、組成傾斜層の上限の厚さについては、前述したように、分布ブラッグ反射器の設計反射波長を考慮して、反射率の減少が顕著とならない範囲の厚さを選ぶことによって、電氣的、光学的に特性の優れた分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 8 0 】

第 5 の実施形態

本発明の第 5 の実施形態の分布ブラッグ反射器は、請求項 3 記載の分布ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する屈折率が小なる第 2 の半導体層と屈折率が大なる第 1 の半導体層は、A l A s , G a A s , または A l G a A s 混晶で形成され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との A l 組成の差が 0 . 8 以上であることを特徴としている。

【 0 0 8 1 】

この第 5 の実施形態では、A l G a A s 系半導体材料によって構成された分布

ブラッグ反射器において、分布ブラッグ反射器を構成する半導体層の A l 組成の差が 0 . 8 以上であるような場合に、 $1 . 1 \mu \text{m}$ よりも長波長帯に設計反射波長を有する半導体分布ブラッグ反射器の反射率を高く保ったまま、電気抵抗を効果的に低減することができる。

【 0 0 8 2 】

すなわち、A l A s と G a A s では価電子帯のバンド不連続は 500 meV 程度であり、A l A s と G a A s からなる分布ブラッグ反射器の場合に抵抗率を効果的に低減するのには、(ドーピング密度による依存もあるが) 更に厚い組成傾斜層が必要となる。図 1 2, 図 1 3 の結果を併せて考えた場合、 30 nm 以上の厚さの組成傾斜層を設ければ良いことが分かる。このように分布ブラッグ反射器を構成する半導体材料のバンド不連続に注目して見た場合に、バンド不連続量が 400 meV 以上の場合には、組成傾斜層の厚さ 30 nm 以上が効果的に抵抗を低減できる厚さである。

【 0 0 8 3 】

A l 組成差と価電子帯バンド不連続量は、前述の第 4 の実施形態において述べた関係があり、価電子帯不連続量 400 meV は、A l 組成差 0 . 8 以上に対応する。従って、A l 組成差が 0 . 8 以上であるような場合には、組成傾斜層の厚さ 30 nm 以上が効果的に抵抗を低減できる厚さであり、この厚さの組成傾斜層を設けることによって、効果的に電気抵抗率を低減することが可能となる。

【 0 0 8 4 】

また、組成傾斜層の上限の厚さについては、前述したように、分布ブラッグ反射器の設計反射波長を考慮して、反射率の減少が顕著とならない範囲の厚さを選ぶことにより、電氣的、光学的に特性の優れた分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 0 8 5 】

第 6 の実施形態

本発明の第 6 の実施形態の分布ブラッグ反射器は、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率

と第2の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は、厚さが、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 $\lambda\ [\mu\text{m}]$ に対して、 $(50\lambda - 15)\ [\text{nm}]$ 以下であることを特徴としている。

【 0 0 8 6 】

この第6の実施形態においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ よりも長波の分布ブラッグ反射器の抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【 0 0 8 7 】

図14には、設計反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 乃至 $1.7\ \mu\text{m}$ の分布ブラッグ反射器について組成傾斜層厚さと反射率の関係が示されている。分布ブラッグ反射器は、高屈折率としてGaAsが用いられ、低屈折率層としてAlAs層が用いられている。また、分布ブラッグ反射器のペア数は、夫々の波長において反射率が始めて99.9%を超えるペア数としている。すなわち、 $0.88\ \mu\text{m}$ では18ペア、 $1.1\ \mu\text{m}$ では22ペア、 $1.3\ \mu\text{m}$ では23ペア、 $1.5\ \mu\text{m}$ では23ペア、 $1.7\ \mu\text{m}$ では24ペアである。また、図15には、図14の反射率の組成傾斜層厚さに対する変化率 $(|dR/dt|)$ が示されている。図14から、組成傾斜層の厚さが厚くなるに従い、反射率が減少していく様子が分かる。また、図15からは、反射率の減少率が、ある組成傾斜層厚さから急激に増加する様子が分かる。図15には、この様子を分かり易くするために、変化率の傾きが更に直線で示されている。すなわち、図15中の直線は、反射率が減少し始める厚さに対して変化率の接線を引いたものである。例えば、設計反射波長 $1.3\ \mu\text{m}$ の分布ブラッグ反射器に注目し図15を見れば、反射率の変化率は組成傾斜層厚さ $50\ \text{nm}$ から急激に大きくなることが分かる。図14では、これに対応して、分布ブラッグ反射器の反射率が急激に減少を始める。従って、例えばこれを反射鏡とした面発光レーザ素子では、発振閾値電流が急激に増加する。また、図15中に示すように、この反射率の変化率が急激に増加する組成傾斜層の厚さは、半導体分布ブラッグ反射器の設計波長帯によって異なっている。つまり、より長波の

設計反射波長の分布ブラッグ反射器ほど、反射器を構成する各半導体層の厚さが厚くなるので、同じ厚さの組成傾斜層に対しての影響が少なくなる。

【 0 0 8 8 】

このように、この変化率が急激に増加し始める組成傾斜層の厚さ（閾厚さ）は分布ブラッグ反射器の設計反射波長によって異なるが、急激に増加し始める変化率の閾値は波長にあまり依存せず、図 1 5 中に示すように、およそ 0 . 0 9 程度であることが分かる。

【 0 0 8 9 】

また、図 1 4 に示した各波長に対して閾厚さを示すと次表（表 2）のようになる。

【 0 0 9 0 】

【表 2】

設計反射波長	1.1 μ m	1.3 μ m	1.5 μ m	1.7 μ m
閾厚さ	40nm	50nm	60nm	70nm

【 0 0 9 1 】

表 2 から、設計反射波長と閾厚さとは、略線形の関係にあり、表 2 から、閾厚さ t [nm] と分布ブラッグ反射器の設計反射波長 λ [μ m] との関係を求めると、次式（数 1）の関係があることが分かる。

【 0 0 9 2 】

【数 1】

$$t = 50\lambda - 15$$

【 0 0 9 3 】

従って、波長 1 . 1 μ m 以上の設計反射波長 λ を有する分布ブラッグ反射器に対して、数 1 で決まる厚さ t 以下の厚さの材料層（組成傾斜層）を設けることにより、高い反射率を保った低抵抗な分布ブラッグ反射器を得ることができる。なお、上述の例では、組成傾斜層が線形組成傾斜層であるとしているが、組成傾斜層としては、この他にも非線形なものを用いても良い。この場合においても、同様な結果、効果を得ることができる。

【 0 0 9 4 】

第 7 の実施形態

本発明の第 7 の実施形態の分布ブラッグ反射器は、第 6 の実施形態の分布ブラッグ反射器において、材料層の厚さが 2 0 n m 以上であることを特徴としている。

【 0 0 9 5 】

この第 7 の実施形態の実施形態においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が 1 . 1 μ m よりも長波の分布ブラッグ反射器の抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【 0 0 9 6 】

第 6 の実施形態において説明したように、分布ブラッグ反射器の反射率を高く保つことができる組成傾斜層と設計反射波長には数 1 の関係がある。

【 0 0 9 7 】

電気的特性については、前述したように組成傾斜層の厚さを厚くするほど、半導体ヘテロ界面の影響を低減することが可能であり、より低抵抗な分布ブラッグ反射器を得ることができる。また、組成傾斜層による低抵抗化の効果は、分布ブラッグ反射器の材料と、ドーピング密度と、プロファイルとによって決まり、本質的に反射波長帯域には依存しない。従って、低抵抗化の効果が十分に得られる組成傾斜層には下限があり、十分に低抵抗な分布ブラッグ反射器を得るためには、ある厚さ以上の組成傾斜層を設ける必要がある。

【 0 0 9 8 】

例えば、図 1 3 の $1 \text{ E } 1 8 \text{ c m }^{-3}$ の密度に一樣にドーピングされた分布ブラッグ反射器では、組成傾斜層の厚さが 2 0 n m 未満では、分布ブラッグ反射器の抵抗率はバルク抵抗率に対し桁違いに大きい。2 0 n m 以上からバルク抵抗率と同じオーダーにまで低減することが分かる。従って、上述のようなドーピング密度の場合には、組成傾斜層の厚さを 2 0 n m 以上とするのが電気特性的に好ましい。従って、以上の結果から、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 λ [μ m] に対して、組成傾斜層の厚さ t [n m] を $20 \leq t \leq 50 \lambda - 15$ の範囲に選ぶことにより、電氣的に十分に低抵抗で、光学的にも高い反射率を保った特性の優れた分

布ブラッグ反射器を得ることができる。

【0099】

第8の実施形態

本発明の第8の実施形態の分布ブラッグ反射器は、第6の実施形態の分布ブラッグ反射器において、材料層は、厚さが30nm以上であることを特徴としている。

【0100】

この第8の実施形態においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、設計反射波長が1.1 μ mよりも長波の分布ブラッグ反射器の抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【0101】

半導体材料では、禁則帯幅よりもエネルギーの小さな光子に対しても、自由キャリアの増加とともに光吸収が増加する傾向があるが、加えて、p型半導体ではキャリアである正孔の増加に従い価電子帯間吸収による光吸収が顕著に生じる。また、この価電子帯間吸収は、長波になるほど増加するので、設計反射波長が1.1 μ mより長波であるような分布ブラッグ反射器では特に問題であり、これらの光吸収は分布ブラッグ反射器の反射率を低減させる原因となる。更に、これを反射鏡としたレーザ素子では、光吸収によって閾値電流の増加、効率の低下等を引き起こす。従って、光吸収の低減という点においては、半導体層のドーピング密度は可能な限り低いことが好ましい。しかしながら、ドーピング密度を低減するに従ってヘテロ界面の空乏層は増加するので、界面のポテンシャル障壁の影響が大きくなり、抵抗率を増加させる原因となる。

【0102】

従って、例えば上述のような目的によってドーピング密度を低減した半導体分布ブラッグ反射器において、抵抗率を低減させるためには、より厚い組成傾斜層が必要となる。このような分布ブラッグ反射器として、例えば5E17cm⁻³程度にドーピングを行った場合には、図12の結果を見ると、組成傾斜層の厚さが30nm以上から、抵抗率がバルクと同程度まで低減することが分かる。

【0103】

また、半導体層のドーピング密度、プロファイルとしては、様々な組み合わせが考えられ、その種類は膨大である。しかしながら、少なくとも1つの半導体層のドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満である場合には、同様な傾向を示す。何故ならば、ヘテロ界面にできるポテンシャル障壁は、ヘテロ界面に接する半導体層のドーピング密度により、その高さ、障壁厚さが決まり、ドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下と低い場合ほどヘテロ界面の影響が大きく、また、主にドーピング密度が低いヘテロ界面により電気的特性が決まるからである。本発明は、このように分布ブラッグ反射器を構成する半導体層のうち、少なくとも1つの半導体層のドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満であるようなものに対し、大きな作用、効果を生じる。

【 0 1 0 4 】

更に、ここでは例として上述のドーピング密度の結果を示したが、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のオーダーにドーピングされた分布ブラッグ反射器では、これと略同様の結果を示す。勿論、ドーピング密度はこれよりも更に低い範囲であっても良く、その場合には組成傾斜層の厚さを第6の実施形態の範囲で 30 nm 以上とすることで、同様に低抵抗化を行なうことができる。

【 0 1 0 5 】

以上のように、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 λ [μm] に対して、材料（組成傾斜層）の厚さ t [nm] を $30 \leq t \leq 50\lambda - 15$ の範囲に選ぶことにより、電氣的に十分に低抵抗で、光学的にも高い反射率を保った特性の優れた分布ブラッグ反射器を得ることができる。

【 0 1 0 6 】

第9の実施形態

本発明の第9の実施形態の面発光レーザ素子は、活性層と、共振器ミラーとを有し、共振器ミラーには第1乃至第8のいずれかの実施形態の分布ブラッグ反射器が用いられることを特徴としている。

【 0 1 0 7 】

この第9の実施形態の面発光レーザ素子は、低電圧、高効率、高出力動作する

【 0 1 0 8 】

すなわち、この第 9 の実施形態では、面発光レーザ素子の共振器ミラー（反射ミラー）に第 1 乃至第 8 のいずれかの実施形態の分布ブラッグ反射器を用いている。半導体材料による分布ブラッグ反射器としては、AlGaAs 材料（例えば、AlAs/GaAs 材料）を用いるものが、反射特性及び（電流狭窄のための）酸化プロセスとの整合性から、面発光レーザ素子の共振器ミラー（反射ミラー）として非常に優れた特性を備えている。

【 0 1 0 9 】

更に、第 1 の実施形態の分布ブラッグ反射器を用いることで、従来の光通信、光伝送用途の 0.85 μ m 帯、0.98 μ m 帯面発光レーザに比べ、低発振閾値電流、低消費電力、高出力動作可能な光通信、光伝送用途の面発光レーザ素子を得ることができる。特に、1.3 μ m 帯は、石英シングルモードファイバの零分散帯であり、この帯域を発振波長とした面発光レーザ素子と組み合わせることにより、高速なデータ通信が行える。また、波長 1.5 μ m 帯は波長多重通信（DWDM）において重要な波長帯であり、この波長帯において特性の優れた面発光レーザ素子が必要である。本発明の第 1 乃至第 8 のいずれかの実施形態の分布ブラッグ反射器を用いた面発光レーザ素子は、動作電圧が低く、効率が高いため、これらの用途に対し好適な面発光レーザ素子である。

【 0 1 1 0 】

第 1 0 の実施形態

本発明の第 1 0 の実施形態の面発光レーザ素子は、第 9 の実施形態の面発光レーザ素子において、活性層の材料が GaNAs, GaInAs, GaInNAs, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNAsSb のいずれかであることを特徴としている。

【 0 1 1 1 】

この第 1 0 の実施形態の面発光レーザ素子は、低電圧、高効率、高出力、高温動作する。

【 0 1 1 2 】

すなわち、この第 1 0 の実施形態では、活性層の材料を、GaNAs, GaI

nAs, GaInNAs, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNAsSbのいずれかとしており、これらの材料は、GaAs基板上に結晶成長が可能であり、反射率、熱伝導性、プロセス制御（結晶成長や、Al(Ga)As混晶等の選択酸化）の点において優れた特性を持つAlGaAs系材料によるDBRを用いて、1.1 μ mよりも長波で発振する面発光レーザ素子を得ることができる。特に、波長1.3 μ m帯のレーザ素子と石英シングルモードレーザとを組み合わせることによって、高速通信、高速伝送が可能になる。また、波長多重通信で重要な1.5 μ m帯において特性の優れた素子を得ることができる。

【0113】

さらに、上述した材料(GaNAs, GaInAs, GaInNAs, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNAsSb)の中でも、特にGaInNAs混晶材料は、キャリア閉じ込め層となるGaAs層に対し、伝導帯のバンド不連続量が大きく、電子のオーバーフローが低減できることから、高温まで安定な発振を得ることができる。以上のように、本発明によれば、光通信、光伝送用として好適な面発光レーザ素子を得ることができる。このように活性層をGaInNAsとすると、GaAs基板上に石英シングルモードファイバ通信で重要な1.3 μ m帯、波長多重通信で重要な1.5 μ m帯を含む1.1 μ mよりも長波の面発光レーザ素子を得ることができる。

【0114】

図16は本発明の面発光レーザ素子の構成例を示す図である。図16の面発光レーザ素子は、GaInNAs混晶を活性層とした1.3 μ m帯に発振波長を持つ素子である。すなわち、図16の素子は、n-GaAs基板11上に、Al_{0.8}Ga_{0.2}As/GaAs 36ペアn-DBR12、GaAsスペーサー層13、GaInNAs多重量子井戸活性層14、GaAsスペーサー層15、Al_{0.8}Ga_{0.2}As/GaAs 26ペアp-DBR17、p-GaAsコンタクト層18が結晶成長されている。また、p-DBR17中の発振光の定在波の節にあたる位置にAlAs選択酸化層16が設けられている。

【0115】

そして、図16の素子は、円柱メサを残し、n-DBR12までの各層が、エ

エッチング除去され、エッチング側面から、AlAs層16を選択酸化し酸化狭窄構造（電流狭窄構造）が設けられている。ここで、単一横モード発振が得られるように酸化狭窄径は $5\mu\text{m}$ としている。そして、エッチングされた領域はポリイミド膜19で埋め込まれ、メサ中心部の光出射部20以外の領域にp型オーミック電極21が形成され、また、基板11の裏面にn型オーミック電極22が形成されている。

【0116】

ここで、n-DBR12は、 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ によって構成されている。

【0117】

また、p-DBR17は、図17に示すように、 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層31、 AlGaAs 組成傾斜層32、 GaAs 層33が所定のペア数で積層されて構成されている。ここで、p-DBR17の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層31が屈折率小の層（第2の半導体層）、 GaAs 層33が屈折率大の層（第1の半導体層）にあたる。また、材料層として、Al組成を上記2層31、33の一方の組成から他方の組成へと線形に変化させた組成傾斜層32を用いた。組成傾斜層32の厚さは 40nm とした。また、p-DBR17は、キャリア密度が $8\text{E}17\text{cm}^{-3}$ となるように一様にドーピングされている。

【0118】

この面発光レーザ素子の動作電圧及び発振閾値電流は、本発明のDBR（分布ブラッグ反射器）を用いたことにより、非常に低い値を得ることができた。また、特にドーピング密度を $1\text{E}18\text{cm}^{-3}$ とした素子に比べても、素子の閾値電流密度は低く、また高い効率を得ることができた。また、素子抵抗（p-DBR17の抵抗）が低いことによって、素子発熱が少なく、熱による出力の飽和点が高く、高出力を得ることができた。また、活性層材料を GaInNAs としたことで、 GaAs 基板上に発振波長 $1.3\mu\text{m}$ を得ることができた。素子は $1.3\mu\text{m}$ 帯で、基本横モード発振を実現し、特性の優れた光通信用途の面発光レーザ素子を得ることができた。

【0119】

すなわち、図 1 6 の面発光レーザ素子の発振波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、特に、活性層 1 4 を GaInNAs とすることにより、 GaAs 基板 1 1 上にファイバ通信で重要な $1.3 \mu\text{m}$ 帯、 $1.5 \mu\text{m}$ 帯を含む $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波の面発光レーザ素子を得ることができる。

【0120】

第 1 1 の実施形態

本発明の第 1 1 の実施形態の面発光レーザアレイは、第 9 または第 1 0 の実施形態の面発光レーザ素子が複数個配列されて構成されていることを特徴としている。

【0121】

この第 1 1 の実施形態の面発光レーザアレイは、低電圧、高効率、高出力、高温動作する。

【0122】

すなわち、この第 1 1 の実施形態では、上述した本発明の面発光レーザ素子を複数個配列して面発光レーザアレイを構成することができる。上述した本発明の面発光レーザ素子の分布ブラッグ反射器 (DBR) は、従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯面発光レーザ素子に比べて、分布ブラッグ反射器 (DBR) の抵抗が低く、面発光レーザ素子の動作電圧が低減している。つまり、素子の消費電力、発熱が少なく、アレイのように高密度に集積した場合に消費電力低減の効果は大きい。また、発熱による素子間の干渉も少なく、特性、信頼性の優れた面発光レーザアレイが得られる。

【0123】

第 1 2 の実施形態

また、上述した本発明の面発光レーザ素子、または、上述した本発明の面発光レーザアレイによって、光インターコネクションシステムを構成することができる。

【0124】

このような構成の光インターコネクションシステムでは、設計反射波長を $1.1 \mu\text{m}$ より長波とし、従来に比べて厚さが厚くかつ屈折率が小と大の間の値をと

る材料層を設けた抵抗値の小さい分布ブラッグ反射器 (DBR) を共振器ミラーとした本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを光源に用いることによって、高速伝送が可能な信頼性の高いインターコネクションシステムを提供することができる。

【 0 1 2 5 】

すなわち、上述した本発明の光インターコネクションシステムに用いられている面発光レーザ素子または面発光レーザアレイは、前述のように、発振波長を $1.1\ \mu\text{m}$ より長波としたことによって、p型DBRを構成する各層の厚さが、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子に比べ厚い。よって、反射率を著しく低減すること無く、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子に比べて厚さが厚くかつ屈折率が小と大の間の値をとる材料層をDBRの各層の間に設けることが可能となり、DBRの抵抗値を従来に比べて小さくできる。これによって、動作電圧を低減でき、また、素子発熱を低減でき、また、消費電力を小さくでき、また、素子寿命等の信頼性が向上するといった効果が得られる。また、素子抵抗が小さいので、素子の応答時間も短くなり、高速変調に適している。

【 0 1 2 6 】

従って、このような面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを用いた光インターコネクションシステムでは、低消費電力で、高速変調が可能で、システムの信頼性も高い。更に、発振波長を $1.1\ \mu\text{m}$ より長波にしたことによって、石英シングルモードファイバを用いた光インターコネクションシステムを構築することができる。石英シングルモードファイバは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯に零分散を有しており、また、面発光レーザ素子は発振スペクトル幅が非常に狭いという特徴がある。石英シングルモードファイバと本発明の素子抵抗が低く高速変調が可能な $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子とを組み合わせたインターコネクションシステムでは、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 帯、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子を用いた光インターコネクションシステムでは難しかった高速伝送が可能であるという大きな効果が得られる。また、前述した活性層材料 (GaNA s, GaInA s, GaInNA s, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNA sSb) の中でも

、特にGaInNAs量子井戸を活性層とした面発光レーザ素子は、例えばGaAsバリア層との伝導帯バンド不連続量が大きく、材料特性的に電子のオーバーフローが小さいので、環境温度の変化に対して安定に動作する。また、GaAs基板上に結晶成長が可能なことによって、反射特性、放熱性に優れ、酸化狭窄プロセスの確立されたAlGaAs混晶による分布ブラッグ反射器を用いることができるので、インターコネクションシステムに非常に優れたレーザ光源を用いることができる。

【0127】

以上から、高速伝送が可能な信頼性の高い光インターコネクションシステムを得ることができる。

【0128】

図18は本発明の光インターコネクションシステムの具体例を示す図である。図18の光インターコネクションシステムは、機器間並列光インターコネクションシステムとして構成されている。

【0129】

図18のインターコネクションシステムは、機器1と機器2の間を光ファイバレイを用いて接続したものとなっている。送信側である機器1では、前述した本発明の面発光レーザアレイを用いた1次元面発光レーザアレイモジュールとこれの駆動回路とを備えている。また、受信側である機器2では、フォトダイオードアレイモジュールと信号検出回路とを備えている。

【0130】

図19には、面発光レーザアレイモジュールの概要が示されている。図19の面発光レーザアレイモジュールは、シリコン基板上に、1次元モノリシック面発光レーザアレイと、マイクロレンズアレイと、ファイバアレイとが実装されて構成されている。面発光レーザアレイは、ファイバに対向して設けられており、マイクロレンズアレイを介してシリコン基板に形成したV溝に実装された石英シングルモードファイバと結合している。面発光レーザアレイの発振波長は1.3 μ m帯であり、石英シングルモードファイバが用いられている。

【0131】

上記の光インターコネクションシステムのように、石英シングルモードファイバと発振波長が $1.1\mu\text{m}$ より長波($1.3\mu\text{m}$)の面発光レーザアレイを用いることにより、高速伝送が可能となる。これは、石英ファイバが $1.3\mu\text{m}$ 帯に波長ゼロ分散を有しており、面発光レーザ素子の発振スペクトルが狭いことに加え、特に、本発明の面発光レーザ素子の分布ブラッグ反射器の抵抗値が小さく、素子の応答が向上した効果によるところが大きい。

【0132】

また、素子の低抵抗化によって動作電圧が低減し、素子寿命等の信頼性は高く、システムの信頼性も向上した。また、素子の低抵抗化によって素子の消費電力が低減し、システムの消費電力も低減した。また、素子の低抵抗化によって発熱が減少し、高出力動作が可能であった。従って、符号誤り率の低いインターコネクションシステムが得られた。

【0133】

この際、前述した活性層材料(GaNA s , GaInA s , GaInNA s , GaAsSb , GaInAsSb , GaInNA sSb)の中でも、特に GaInNA s 混晶による量子井戸を活性層とした面発光レーザ素子では、例えば GaAs バリア層との伝導帯バンド不連続量が大きく、材料特性的に電子のオーバーフローが小さいので、環境温度の変化に対しても安定に動作する。

【0134】

以上のように、消費電力が低く、高速動作が可能な信頼性の高い並列光インターコネクションシステムを得ることができる。

【0135】

上述の例では、並列光インターコネクションシステムを例に説明したが、この他にも、単一素子を用いたシリアル伝送システムを構成することもできる。また、機器間の他にも、ボード間、チップ間、チップ内インターコネクションに応用することもできる。

【0136】

第13の実施形態

また、上述した本発明の面発光レーザ素子、または、上述した本発明の面発光

レーザアレイによって、光通信システムを構成することができる。

【 0 1 3 7 】

このような構成の光通信システムでは、設計反射波長を $1.1\ \mu\text{m}$ より長波として、従来に比べて厚さが厚くかつ屈折率が小と大の間の値をとる材料層を設けた抵抗値の小さな分布ブラック反射器 (DBR) を共振器ミラーとした本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを光源に用いることによって、素子抵抗、発熱が小さく、高速伝送が可能な信頼性の高い光通信システムを提供することができる。

【 0 1 3 8 】

すなわち、上述した本発明の光通信システムに用いられる面発光レーザ素子または面発光レーザアレイとしては、前述のように、発振波長を $1.1\ \mu\text{m}$ より長波としたことにより、p型DBRを構成する各層の厚さが、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子に比べ厚くなり、これによって、反射率を著しく低減すること無く、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子に比べて厚さが厚くかつ屈折率が小と大の間の値をとる材料層をDBRの各層の間に設けることが可能となり、DBRの抵抗値を従来に比べて小さくできる。よって、動作電圧を低減でき、また、素子発熱を低減でき、また、消費電力を小さくでき、また、素子寿命等の信頼性が向上するといった効果が得られる。また、素子抵抗が小さいので、素子の応答時間も短くなり、高速変調に適している。

【 0 1 3 9 】

従って、このような面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを用いた光通信システムでは、低消費電力で、高速変調が可能で、システムの信頼性も高い。更に、発振波長を $1.1\ \mu\text{m}$ より長波にしたことによって、石英シングルモードファイバを用いた光通信システムを構築することができる。石英シングルモードファイバは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯に零分散を有しており、また、面発光レーザ素子は発振スペクトル幅が非常に狭いという特徴がある。石英シングルモードファイバと本発明の素子抵抗が低く高速変調が可能な $1.3\ \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザ素子とを組み合わせた光通信システムでは、従来の $0.85\ \mu\text{m}$ 帯、 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯の面

発光レーザ素子を用いた光通信システムでは難しかった高速通信が可能であるという大きな効果が得られる。また、前述した活性層材料（GaNA_s, GaInAs, GaInNA_s, GaAsSb, GaInAsSb, GaInNA_sSb）の中でも、特にGaInNA_sを量子井戸とした面発光レーザ素子では、例えば、GaAsバリア層等に対し、伝導帯のバンド不連続量が大きく、電子のオーバーフローが小さいので、環境温度の変化に対して安定に動作することに加え、GaAs基板上に結晶成長が可能なことによって、反射特性、放熱性に優れ、酸化狭窄プロセスの確立されたAlGaAs混晶による分布ブラッグ反射器を用いることができる。従って、従来のInP基板上に作製されるInGaAsP混晶を用いた端面型レーザによる光通信システムに比べ、光源の温度特性に優れている。また、前述の材料系では作製が難しい面発光レーザ素子を容易に得ることができる。この面発光レーザ素子は、アレイ化が容易で光ファイバとの結合率が高く、光ファイバを用いた光通信システムの光源として好適である。以上から、本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを用いることによって、高速通信が可能な信頼性の高い光通信システムを得ることができる。

【0140】

図20は本発明の光通信システムの具体例を示す図である。図20の光通信システムは、光LANシステムとして構成されている。図20の光LANシステムは、前述した本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイ素子を用いて光LANシステムを構成したものである。すなわち、サーバーとコアスイッチとの間、及び、コアスイッチと各スイッチとの間、及び、スイッチと各端末との間の光伝送の光源に、本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイ素子が用いられている。また、各機器間は、石英シングルモードファイバまたはマルチモードファイバによって結合を行っている。このような光LANの物理層としては、例えば1000BASE-LX等のギガビットイーサネットが挙げられる。

【0141】

図20の光LANシステムでは、光源に発振波長が1.1 μ mより長波（1.3 μ m）の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを用いている。この面発光レーザ素子では、発振波長を1.1 μ mより長波（1.3 μ m）としたことに

よって、分布ブラッグ反射器の反射率を著しく低下させることなく、従来に比べ厚さが厚くかつ屈折率が小と大の間の値を有する半導体層を設けることができるので、従来の $0.85\mu\text{m}$ 、 $0.98\mu\text{m}$ 帯の分布ブラッグ反射器を有する面発光レーザ素子に比べ、素子抵抗を低減することができて、従来に比べ素子の高速応答が可能であり、高速通信が可能な光通信システムが得られる。

【 0 1 4 2 】

また、機器間の接続に石英シングルモードファイバを用いる場合、 $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザ素子を光源とすることで高速通信が可能となる。これは、石英ファイバが $1.3\mu\text{m}$ 帯に波長ゼロ分散を有しており、面発光レーザ素子の発振スペクトルが狭いことに加え、特に、本発明の面発光レーザ素子の分布ブラッグ反射器の抵抗値が小さく、素子の応答が向上した効果によるところが大きい。

【 0 1 4 3 】

また、素子の低抵抗化によって動作電圧が低減し、素子寿命等の信頼性が向上し、システムの信頼性が向上した。また、素子の低抵抗化によって素子の消費電力が低減し、システムの消費電力も低減した。また、素子の低抵抗化によって発熱が減少し、高出力動作が可能であった。よって、符号誤り率の低い光通信システムが得られた。また、前述した活性層材料 (GaNA s 、 GaInA s 、 GaInNA s 、 GaAsSb 、 GaInAsSb 、 GaInNA sSb) の中でも、特に GaInNA s 混晶を用いることによって、従来の InP 基板上に作製される InGaAsP 混晶による端面型レーザを用いた同波長帯の通信システムに比べ、光源の温度特性に優れ、温度制御、補償装置が不要となる。また、前述の材料系では作製が難しい面発光レーザ素子を容易に用いることができる。この面発光レーザ素子は、アレイ化が容易で光ファイバとの結合率が高く、光ファイバを用いた光通信システムの光源として好適である。以上のように、高速通信が可能な信頼性の高い光通信システムを得ることができる。

【 0 1 4 4 】

上述の例では、光通信システムの一例として、光ファイバを用いた LAN を示したが、光通信システムとしては、この他にも、WAN のようなものであっても良いし、LAN 及び WAN 間を相互に結ぶ幹線系のようなものであっても良い。

また、端末もサーバー、P C（コンピュータ）に限るものではなく、光ファイバによって通信又はデータの授受を行う情報機器端末、更にデータの交換及び中継を行う交換機及び中継機を含む全ての光通信システムに適用可能である。

【 0 1 4 5 】

【発明の効果】

以上に説明したように、請求項 1 記載の発明によれば、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 5 nm 乃至 50 nm の範囲であるので、電気抵抗が低く、かつ、反射率の高い $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波帯の分布ブラッグ反射器（DBR）を提供することができる。すなわち、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR において、高い反射率を維持したまま DBR の電気抵抗を低減することができる。

【 0 1 4 6 】

また、請求項 2、請求項 4 記載の発明によれば、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 20 nm 乃至 50 nm の範囲であるので、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR において、高い反射率を維持したまま DBR の電気抵抗を低減することができる。

【 0 1 4 7 】

また、請求項 3、請求項 5 記載の発明によれば、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブ

ラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は厚さが 30 nm 乃至 50 nm の範囲であるので、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR において、高い反射率を維持したまま DBR の電気抵抗を低減することができる。

【0148】

また、請求項 6、請求項 7、請求項 8 記載の発明によれば、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層とが交互に積層され、屈折率が大なる第 1 の半導体層と屈折率が小なる第 2 の半導体層との間に、第 1 の半導体層の屈折率と第 2 の半導体層の屈折率との間の屈折率値をとる材料層が設けられている分布ブラッグ反射器において、前記分布ブラッグ反射器の設計反射波長は $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波であり、前記材料層は、厚さが、分布ブラッグ反射器の設計反射波長 $\lambda [\mu\text{m}]$ に対して、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下であるので、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯 DBR において、高い反射率を維持したまま DBR の電気抵抗を低減することができる。

【0149】

また、請求項 9 記載の発明によれば、活性層と、共振器ミラーとを有する面発光レーザ素子において、共振器ミラーには請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項に記載の分布ブラッグ反射器が用いられるので、従来の光通信、光伝送用途の $0.85 \mu\text{m}$ 帯、 $0.98 \mu\text{m}$ 帯面発光レーザに比べて、低発振閾値電流、低消費電力、高出力動作可能な光通信、光伝送用途の面発光レーザ素子を得ることができる。すなわち、動作電圧が低く、高効率、高出力動作可能な面発光レーザ素子を得ることができる。

【0150】

また、請求項 10 記載の発明によれば、請求項 9 記載の面発光レーザ素子において、活性層の材料が GaNA s 、 GaInAs 、 GaInNA s 、 GaAsSb 、 GaInAsSb 、 GaInNA sSb のいずれかであるので、 $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波で発振する面発光レーザ素子を得ることができる。特に、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 帯のレーザ素子と石英シングルモードレーザとを組み合わせることによって、高速通信、高速伝送が可能となる。すなわち、動作電圧が低く、高効率、高温

、高出力動作可能な通信用途の面発光レーザ素子を得ることができる。

【0151】

また、請求項11記載の発明によれば、請求項9または請求項10記載の面発光レーザ素子が複数個配列されて構成されている面発光レーザアレイであるので、発熱による素子間の干渉も少なく、特性、信頼性の優れた面発光レーザアレイが得られる。すなわち、動作電圧が低く、高効率、高温、高出力動作可能な通信用途の面発光レーザアレイを得ることができる。

【0152】

また、請求項12記載の発明によれば、請求項9または請求項10の面発光レーザ素子、または、請求項11記載の面発光レーザアレイを用いた光インターコネクションシステムであるので、高速伝送が可能で信頼性の高い光インターコネクションシステムを得ることができる。

【0153】

また、請求項13記載の発明によれば、請求項9または請求項10の面発光レーザ素子、または、請求項11記載の面発光レーザアレイを用いた光通信システムであるので、高速通信が可能で信頼性の高い光通信システムを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

AlAs/GaAsの24ペアの積層によるDBRの反射スペクトルを示す図である。

【図2】

本発明の第1の実施形態の分布ブラッグ反射器(DBR)の一例を示す図である。

【図3】

本発明の第1の実施形態の分布ブラッグ反射器(DBR)の一例を示す図である。

【図4】

0.88 μm 帯と 1.3 μm 帯の DBR の反射率と、材料層（線形組成傾斜層）の厚さとの関係を示す図である。

【図 5】

図 4 の結果と同様の構造の線形組成傾斜層を有する 1.3 μm の反射波長を持つ AlAs/GaAs DBR のゼロバイアス付近における抵抗率 (dV/dJ : 電圧 V [V] の電流密度 J [A/cm^2] による微分) [Ωcm^2] を示す図である。

【図 6】

図 4 の結果と同様の構造の線形組成傾斜層を有する 1.3 μm の反射波長を持つ AlAs/GaAs DBR のゼロバイアス付近における抵抗率 (dV/dJ : 電圧 V [V] の電流密度 J [A/cm^2] による微分) [Ωcm^2] を示す図である。

【図 7】

組成傾斜層の膜厚 t に対する反射率 R の変化を示した図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) の一例を示す図である。

【図 9】

本発明の第 3 の実施形態の分布ブラッグ反射器 (DBR) の一例を示す図である。

【図 10】

図 4 の AlAs/GaAs DBR において、各層のドーピング濃度を $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ とした場合の結果を示した図である。

【図 11】

$\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{GaAs}$ の 4 ペア DBR の電気抵抗率を図 10 と同様に計算した図である。

【図 12】

1.3 μm を設計反射波長とした 4 ペアの p 型分布ブラッグ反射器の電気抵抗率を組成傾斜層の厚さを変えて示した図である。

【図 1 3】

1. $3 \mu\text{m}$ を設計反射波長とした 4 ペアの p 型分布ブラッグ反射器の電気抵抗率を組成傾斜層の厚さを変えて示した図である。

【図 1 4】

設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 乃至 $1.7 \mu\text{m}$ の分布ブラッグ反射器について組成傾斜層厚さと反射率の関係を示す図である。

【図 1 5】

図 1 4 の反射率の組成傾斜層厚さに対する変化率 ($|dR/dt|$) を示す図である。

【図 1 6】

本発明の面発光レーザ素子の構成例を示す図である。

【図 1 7】

本発明の面発光レーザ素子の構成例を示す図である。

【図 1 8】

本発明の光インターコネクションシステムの具体例を示す図である。

【図 1 9】

面発光レーザアレイモジュールの概要を示す図である。

【図 2 0】

本発明の光通信システムの具体例を示す図である。

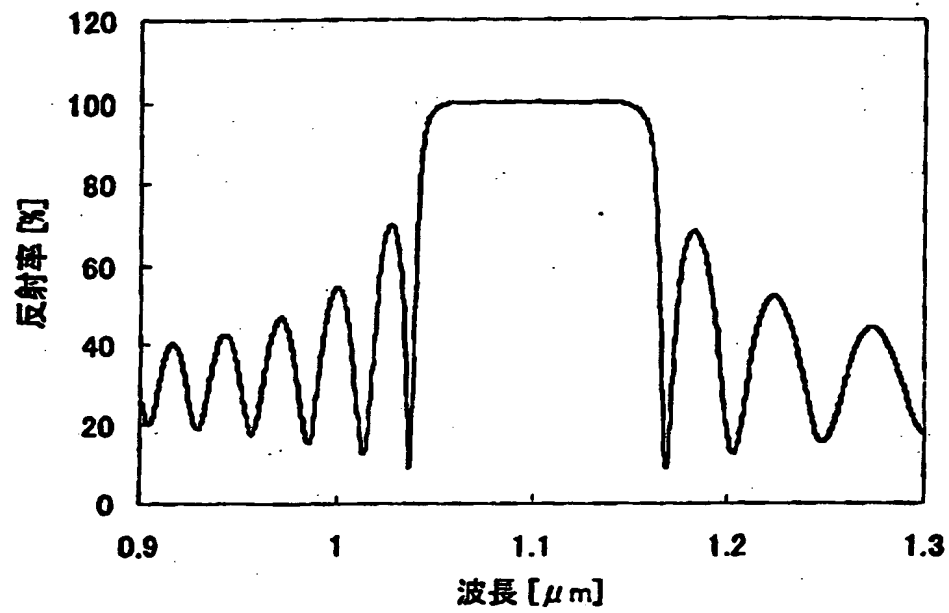
【符号の説明】

- | | |
|-----|-------------|
| 1 | 第 1 の半導体層 |
| 2 | 第 2 の半導体層 |
| 3 | 材料層 |
| 1 1 | n-GaAs 基板 |
| 1 2 | n-DBR |
| 1 3 | GaAs スペーサ層 |
| 1 4 | GaInNAs 活性層 |
| 1 5 | GaAs スペーサ層 |
| 1 6 | 電流狭さく層 |

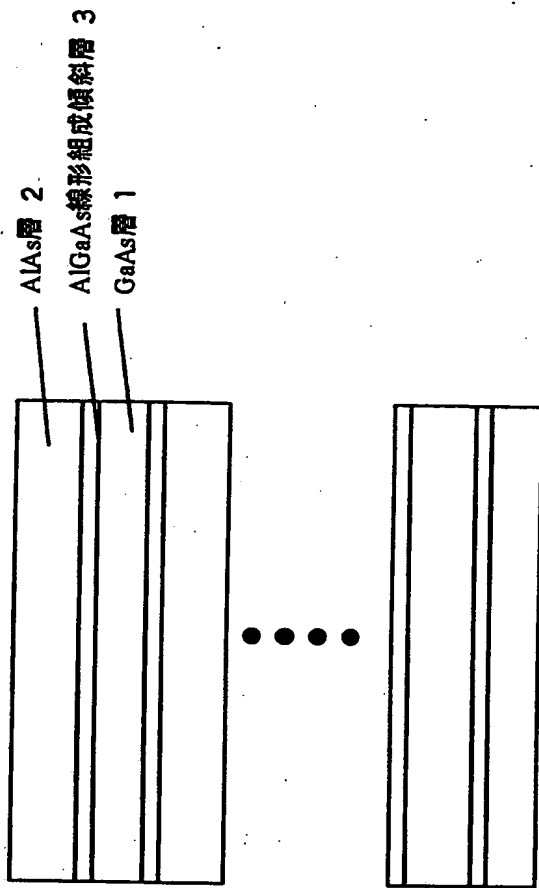
- 17 P-DBR
- 18 P-GaAs コンタクト層
- 19 ポリイミド膜
- 20 光出射部
- 21 P側電極
- 22 n側電極
- 31 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層
- 32 AlGaAs 組成傾斜層
- 33 GaAs 層

【書類名】 図面

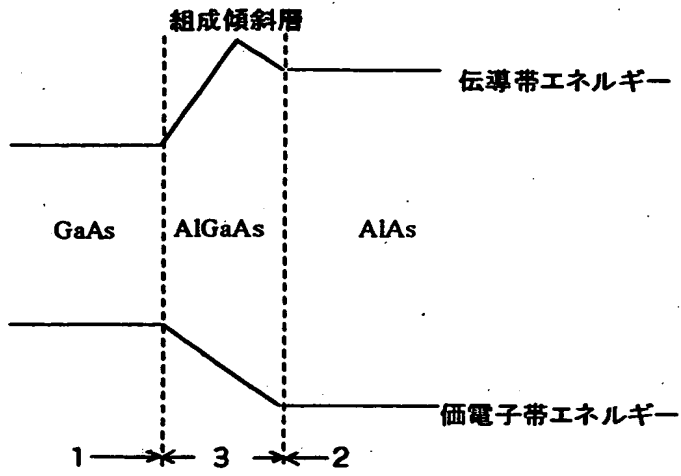
【図 1】



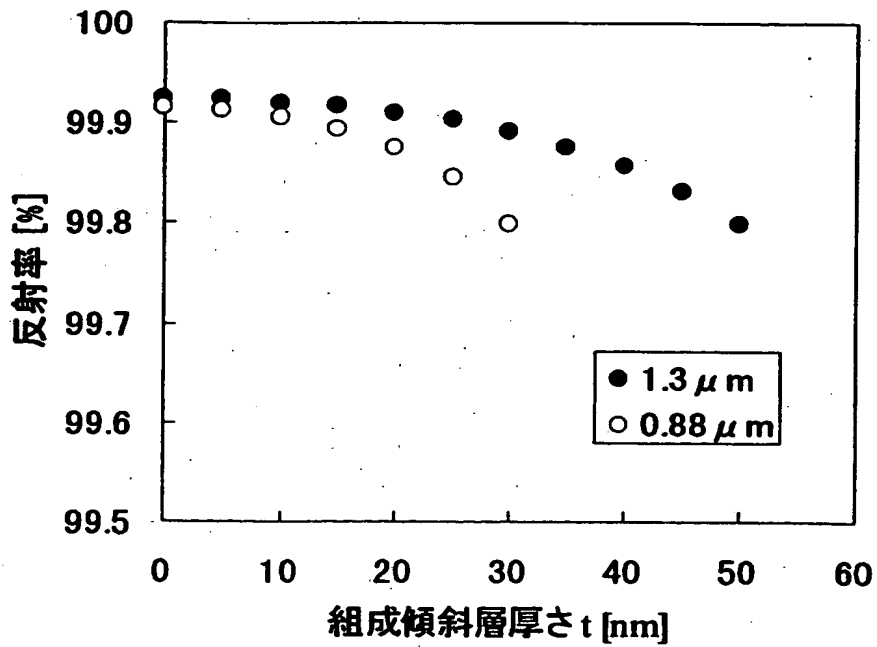
【図 2】



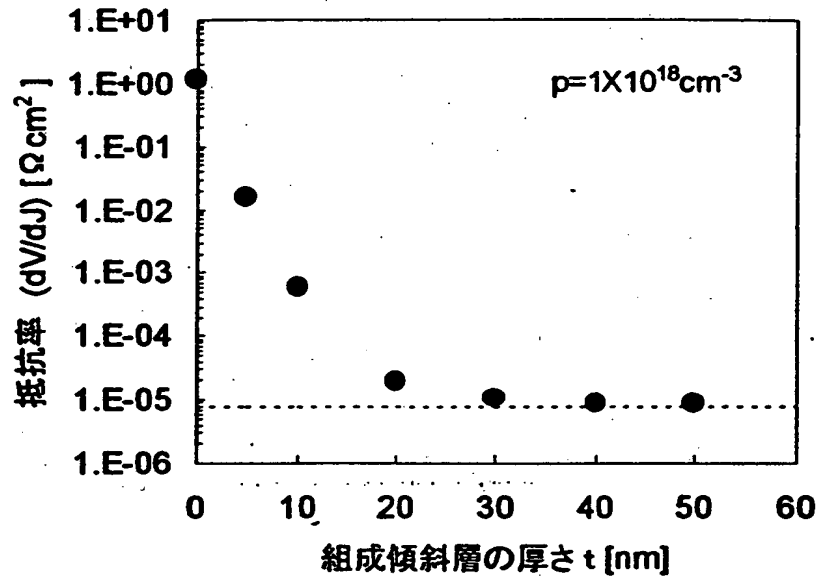
【図 3】



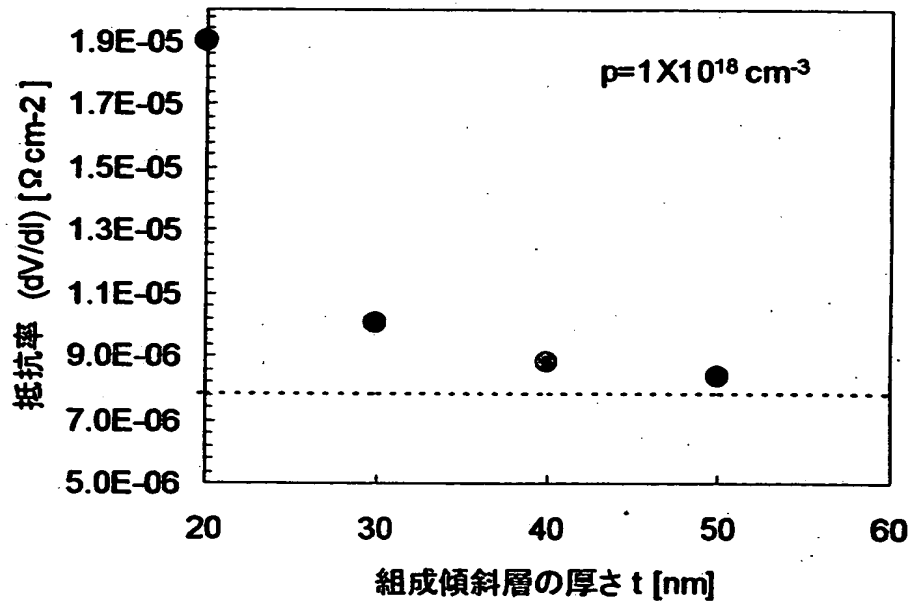
【図 4】



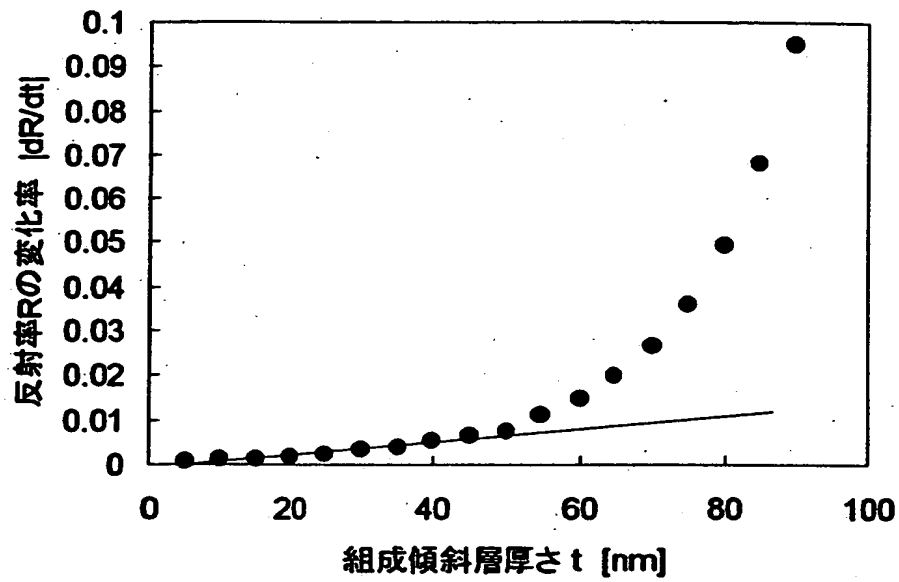
【図 5】



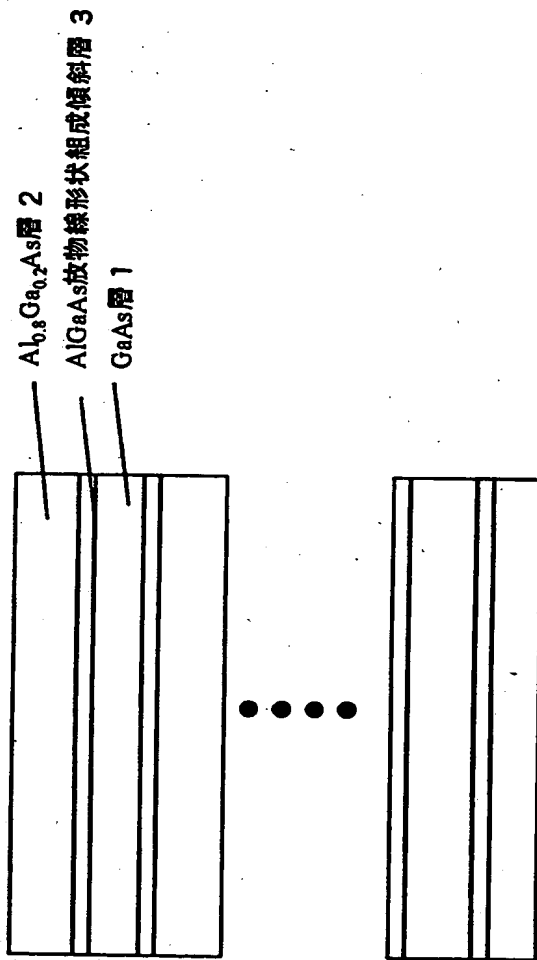
【図 6】



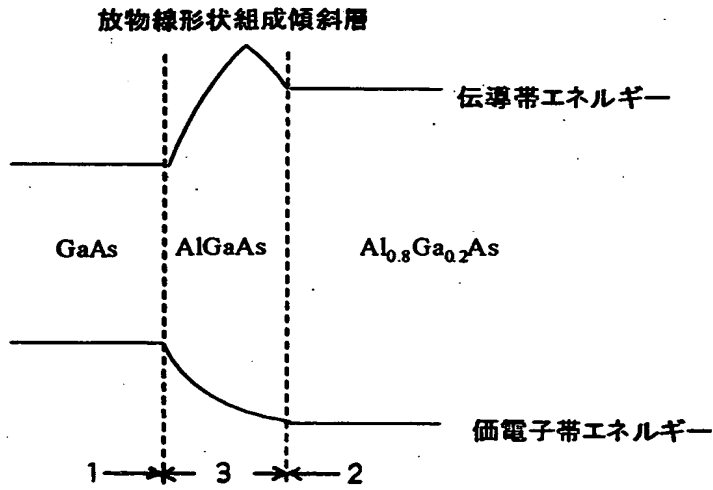
【図 7】



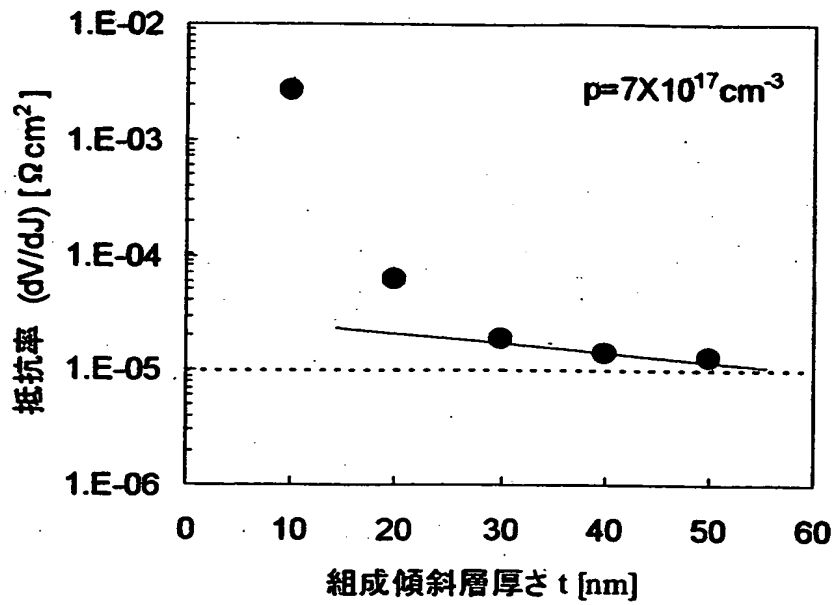
【図 8】



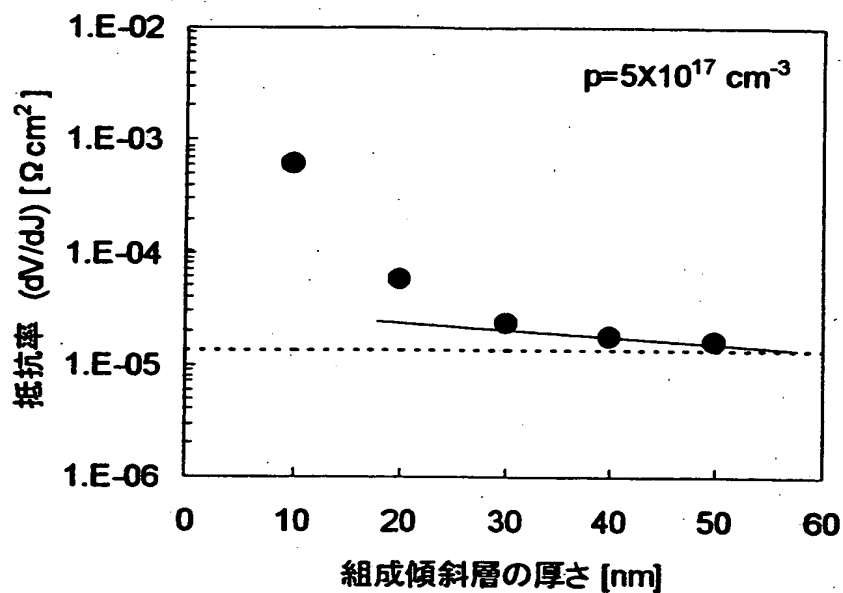
【図 9】



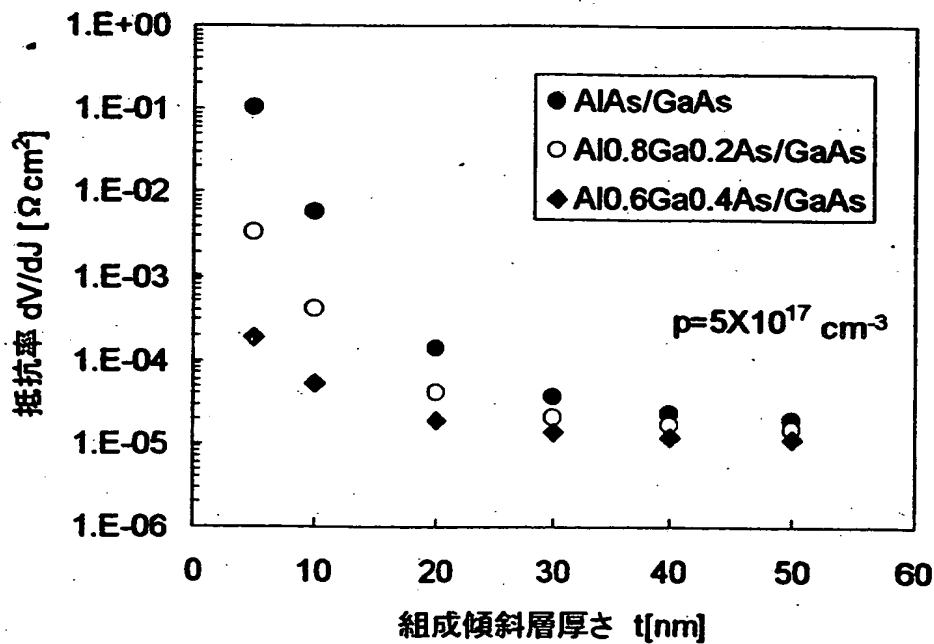
【図 1 0】



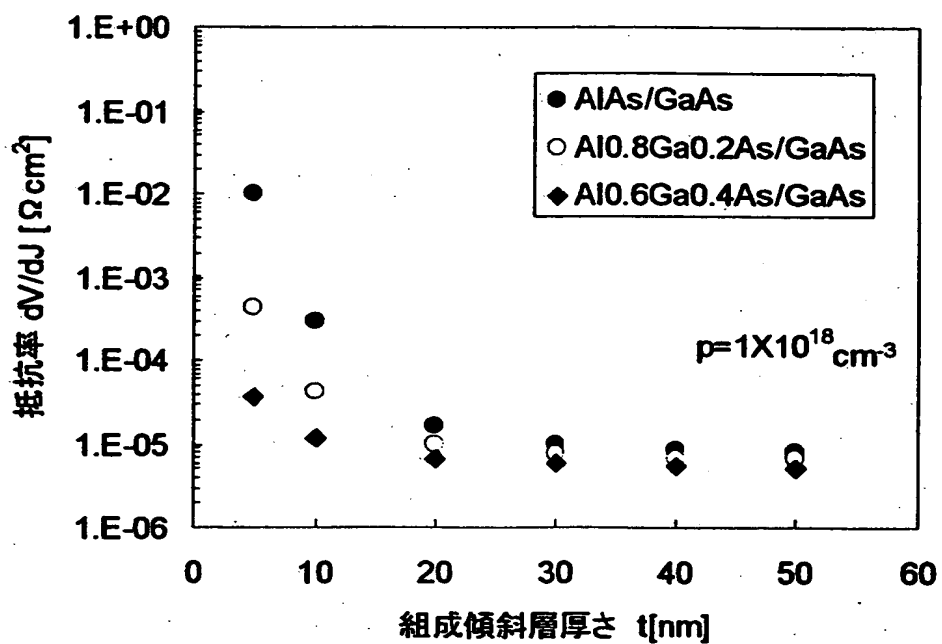
【図 1 1】



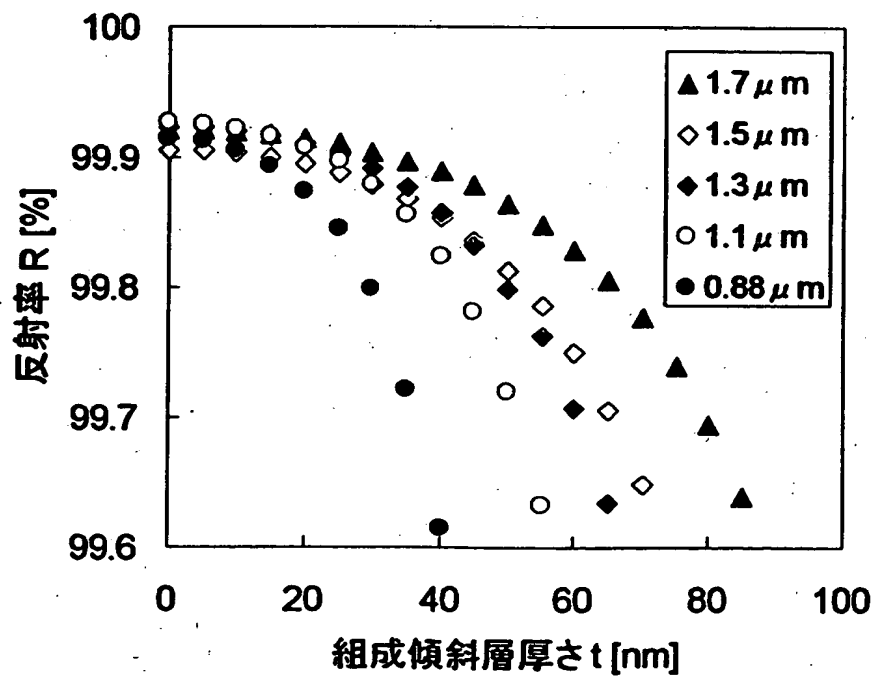
【図 1 2】



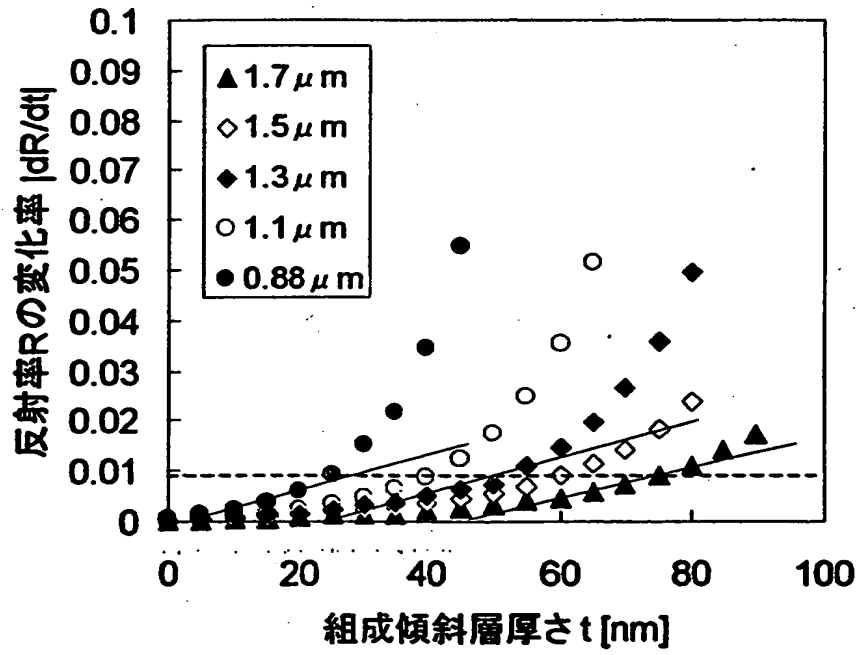
【図 13】



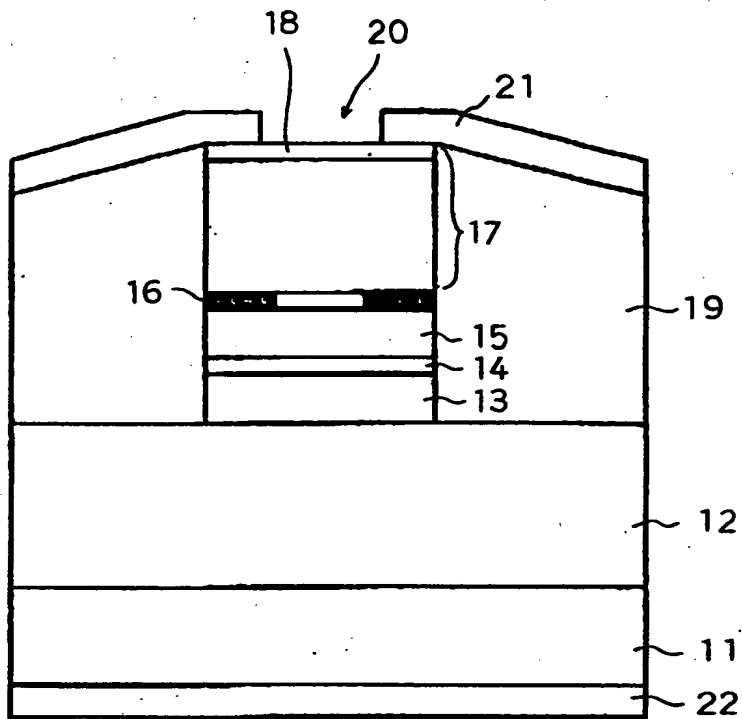
【図 14】



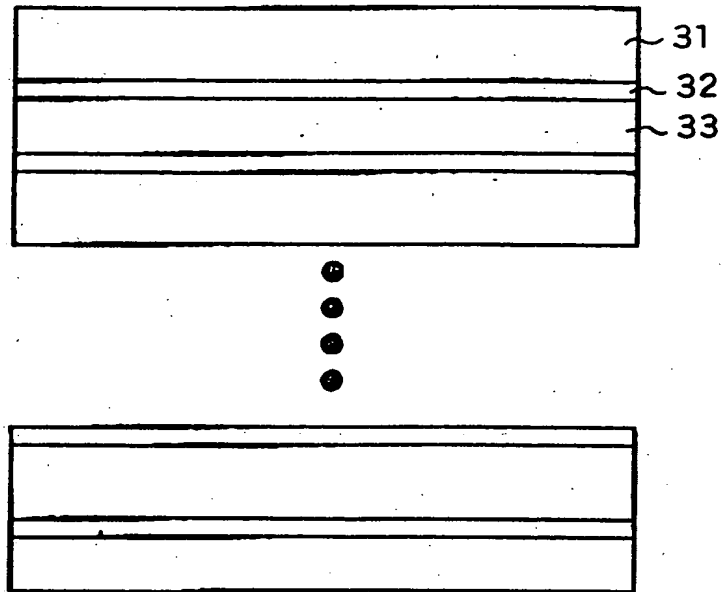
【図 1 5】



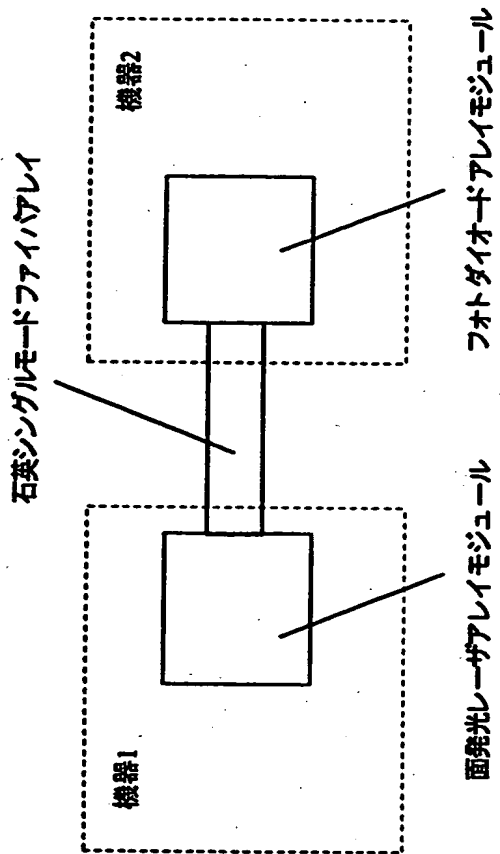
【図 1 6】



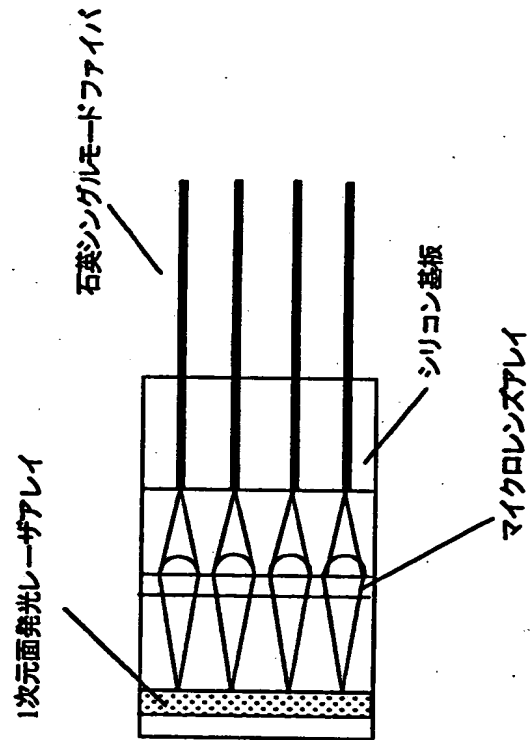
【図 1 7】



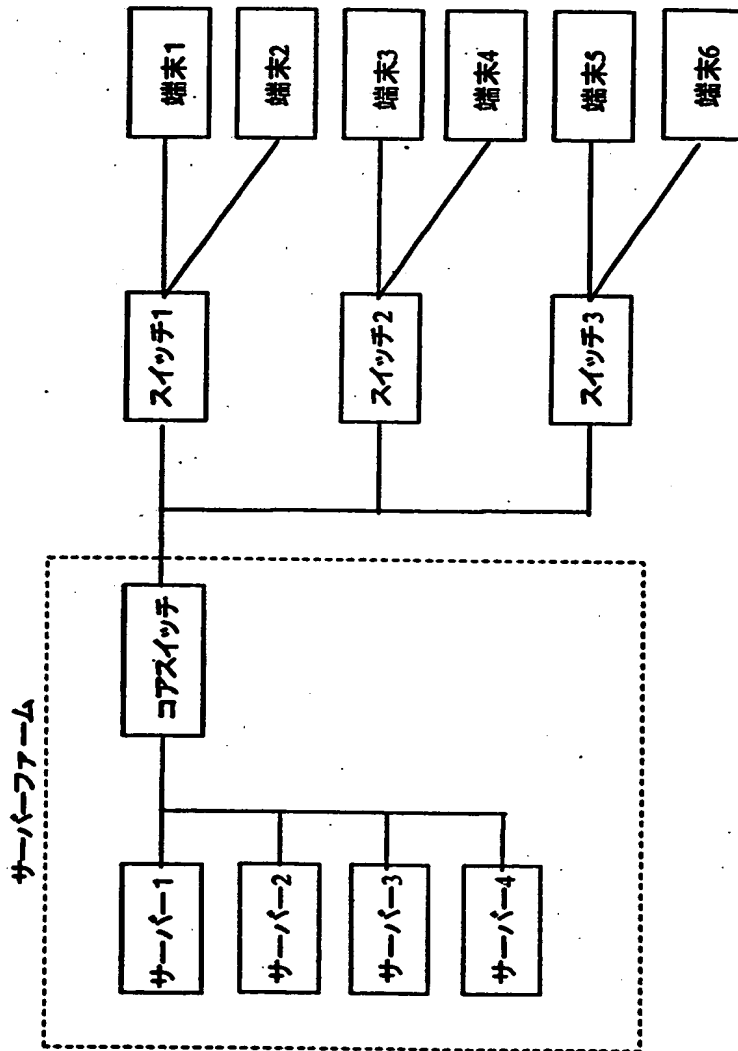
【図 1 8】



【図 1 9】



【図 2 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電気抵抗が低く、かつ、反射率の高い分布ブラッグ反射器を提供する

【解決手段】 本発明の分布ブラッグ反射器（DBR）は、屈折率が大なる第1の半導体層1と屈折率が小なる第2の半導体層2とが交互に積層され、屈折率が大なる第1の半導体層1と屈折率が小なる第2の半導体層2との間に、第1の半導体層1の屈折率と第2の半導体層2の屈折率との間の屈折率値をとる材料層3が設けられているものであって、この分布ブラッグ反射器の設計反射波長は1.1 μm よりも長波であり、前記材料層3は厚さが5 nm乃至50 nmの範囲であることを特徴としている。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
氏 名 株式会社リコー